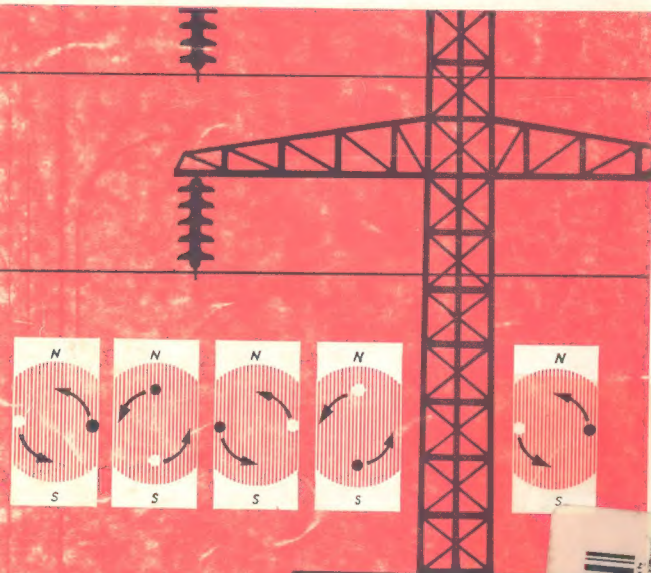
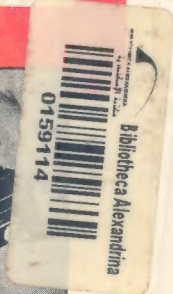
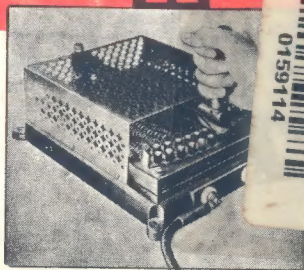


أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول



الأساس
التكنولوجية



أساسيات الهندسة الكهربائية

مؤسسة الأهرام بالقاهرة
المؤسسة الشعبية للتأليف بليبزج

Edition Leipzig and Al-Ahram Cairo

الأسس التكنولوجية

الترجمة العربية بإشراف

دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الجزء الأول

تأليف: هايتز جراف

ترجمة: المهندس إدوار يوسف قاضي

المهندس أمين قاسم سليم

c) Edition Leipzig, German Democratic Republic
Arabian Edition by Al-Ahram Cairo

Printed by AL-AHRAM, CAIRO

هذا الكتاب هو الترجمة الكاملة لكتاب

ELECTRICAL ENGINEERING FUNDAMENTALS

TECHNICAL FUNDAMENTALS من سلسلة :

تصدير

هذه السلسلة - الأسس التكنولوجية - ثمرة تعاون وثيق هادف بين دارين من أكبر دور النشر العالمية ، إحداهما دار النشر في لايبزج Edition Leipzig ، والثانية مؤسسة الأهرام .

وقد تضافرت جهود الدارين على تحقيق النشر العرب لهذه السلسلة الرفيعة التي لقيت كتبها المنشورة بالإنجليزية والفرنسية والأسبانية إقبالا متقطع النظير . ولا عجب أن تفتق مؤسسة الأهرام هذه السلسلة بالذات لتكون طليعة نشاطها في مجال النشر العلمى والتكنولوجى .

فالمصفح لأى كتاب من كتب السلسلة ، أو المستعرض لعناوين الكتب التى صدرت منها حتى الآن ، يجد أن التخطيط لهذه السلسلة يقوم على تبصر عميق باحتياجات الطبقة العريضة من الملاحظين والفنيين الذين يمثلون عصب الإنتاج الصناعى وقوته الكامنة الحقيقية - لذلك فإن دار النشر في لايبزج قد عهدت إلى أعلام التأليف التكنولوجى في جمهورية ألمانيا الديمقراطية بتصنيف كتب هذه السلسلة ، كما عهدت مؤسسة الأهرام إلى خيرة المهندسين ورجال العلم من طم نشاط واسع في مجال الترجمة الفنية للقيام بهذه المهمة .

وواقع الأمر أن فائدة هذه السلسلة غير مقصورة على الملاحظين والفنيين فحسب - بل هى بالغة الأهمية أيضاً للمهندسين الذين يبتغون توسيع آفاق خبراتهم بالأطلاع على التخصصات الأخرى ، ولغير الفنيين الذين يريدون أن تتكامل معلوماتهم في مختلف المجالات التكنولوجية .

أنور محمود عبد الواحد

مقدمة

كان التصدى للحقائق والمفاهيم والظواهر الخاصة بتكنولوجيا الكهرباء ، يعتبر من المحازفات الكبيرة في صدد تقدم الهندسة الكهربائية خلال السنوات العشر الماضية . والمؤلف على يقين كامل بأن وضع كتاب في أسس الهندسة الكهربائية ، يتناول فقط أهم المفاهيم الأساسية ، والجوانب الضرورية لهذا العلم سوف لا يجعله من النوع الجامع المانع .

وقد تم وضع هذا الكتاب بطريقة تجعل القارئ يلم بالقوانين الأساسية والقواعد المستخلصة من الظواهر الفيزيائية والكهربائية والظواهر التكنولوجية . وقد صيغت عبارات الكتاب بلغة سهلة مبسطة وأسلوب متع جذاب . هذا فضلا عن أنه يتيح للقارئ فرصة التعمق في الفروع الأساسية لتكنولوجيا الكهرباء .

أما بالنسبة للصيغ الرياضية المصاحبة لشئ الموضوعات التي تناولها هذا الكتاب ، فقد روعي أن تكون من النوع المبسط نسبيا ، وذلك حتى يصبح بمقدور القارئ القليل الإلمام بالرياضة ، تفهم العلاقات المختلفة التي تعرضنا إليها في هذا الكتاب .

وقد ارتأى الناشر تمشيا مع الهدف من إصدار سلسلة « الأسس التكنولوجية » ، أنه من النافع تماما إصدار كتاب في أسس الهندسة الكهربائية في جزئين ، يشتمل كل منهما على قسمين رئيسيين . يتناول الجزء الأول « أسس الفيزياء التكنولوجية » . و « تمهيد لقياسات الكيات الكهربائية » . ويشتمل الجزء الثاني على « الأبواب الخاصة بهندسة القوى الكهربائية والأساليب الفنية لإعداد البيانات الكهربائية » ، وهذا التقسيم يبدو معقولا تماما ، لأنه يتمشى مع الاتجاهات الحديثة في عرض الموضوعات الخاصة بالهندسة الكهربائية .

وقد أعد هذا الكتاب ليكون بمثابة مرجع تفصيلي للقواعد العلمية لتكنولوجيا الكهرباء ، فهو يحدد الجوانب الأساسية لفروع هذا العلم . ويتضح من ذلك أنه لا يمكن التحويل على هذا الكتاب لتدريب العاملين في فرع معين من الهندسة الكهربائية ، بل هو موجه أساسا لخدمة القراء الذين يرغبون في الحصول على فكرة عامة عن تكنولوجيا الكهرباء ، فضلا عن مدهم بمعلومات تتعلق بموضوعات خاصة . وسوف يعين هذا الكتاب كذلك على تفهم المسائل الأكثر تقدما في هذا العلم بسهولة ويسر .

المحتويات

صفحة

القسم الأول : الأساسيات الفيزيائية الفنية

الفصل الأول : تأثيرات التيار الكهربائي .

١٩	١/١ - التأثير الحرارى للتيار الكهربائي
٢٠	٢/١ - التأثير الصوتى للتيار الكهربائي
٢١	٣/١ - التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائي
٢١	٤/١ - التأثير الكيميائى للتيار الكهربائي
٢١	٥/١ - التأثيرات التنشيطية للتيار الكهربائي

الفصل الثانى : ماهى الكهرباء

الفصل الثالث : الشحنات الكهربائية

٢٦	١/٣ - الشحنات الكهربائية الناجمة
----	--

(أ) نبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية

(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها

(د) خواص الشحنات الكهربائية

٣٥	٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة
----	---

(أ) التيار الكهربائي

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي

(ج) دائرة التيار الكهربائي

الفصل الرابع : الكميات الكهربائية الأساسية

٤٢	١/٤ - شدة التيار
----	------------------------

(أ) تعريف شدة التيار

(ب) وحدة شدة التيار

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار

٤٥	٢/٤ - كمية الكهرباء
٤٥	(أ) تعريف كمية الكهرباء
٤٦	(ب) وحدة كمية الكهرباء
٤٦	٣/٤ - الجهد
٤٦	(أ) تعريف الجهد
٤٧	(ب) وحدة الجهد
٤٨	(ج) إمكانات إيجاد قيمة وحدة الجهد
٤٨	(د) التعاريف المتعددة للجهد
٤٩	٤/٤ - المقاومة :
٤٩	(أ) تعريف المقاومة
٤٩	(ب) وحدة المقاومة
٤٩	(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة
٥٠	الفصل الخامس : العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون أوم)
٥٠	١/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / الجهد
٥١	٢/٥ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة
٥٣	٣/٥ - تفسير قانون أوم
٥٦	(أ) تعريف وحدة المقاومة
٥٦	٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية
٦١	الفصل السادس : مواد الموصلات ، ومواد المقاومات ، والمواد العازلة
٦١	١/٦ - العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة المقطع المستعرض
٦١	(ج) للموصل
٦١	(أ) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله
٦٢	(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض
٦٤	٢/٦ - المقاومةية والموصلية
٦٤	(أ) المقاومةية
٦٥	(ب) الموصلية
٦٧	٣/٦ - مواد الموصلات
٦٧	(أ) مواد الموصلات وقيم مقاومتها
٦٧	(ب) وصف موجز لمواد الموصلات

٦٨	٤/٦ - مواد المقاومة
٦٨	(أ) قيمها ووصف موجز لها
٧٠	(ب) أنواع المقاومات
٧٣	(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة
٧٦	٥/٦ - المواد العازلة
٧٦	(أ) تصنيف المواد العازلة
٧٦	(ب) قيم المقاومة للمواد العازلة
٧٧	(ج) شرح موجز لبعض مواد عازلة
٧٩	(د) متانة الوسط الكهربائي العازل
٨١	الفصل السابع : دوائر بسيطة وشبكات كهربائية
٨١	١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات
٨٣	٢/٧ - الدوائر البسيطة
٨٥	(أ) هبوط الجهد وفقد الجهد
٨٧	٣/٧ - الشبكات
٩٠	(أ) إيجاد قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوازي
٩٢	(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي
٩٣	الفصل الثامن : الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية
٩٤	١/٨ - ملاحظات عامة على الشغل والقدرة
٩٣	٢/٨ - الشغل الكهربائي
٩٥	٣/٨ - القدرة الكهربائية
٩٧	٤/٨ - الكفاءة
١٠٠	الفصل التاسع : المغنطيسية والمغنطيسية الكهربائية
١٠٠	١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغنطيسات الطبيعية والصناعية
١٠٠	(أ) نبذة تاريخية عن المغنطيسات الطبيعية
١٠١	(ب) المغنطيسات الطبيعية
١٠٣	(ج) الاستباقية
١٠٤	(د) النظرية الجزيئية للمغنطيسية

٢/٩ - المجالات المغناطيسية	١٠٥
(أ) تعريف مفهوم المجال المغناطيسي .	١٠٥
(ب) خطوط المجال المغناطيسي ونماذج خطوط المجال	١٠٥
٣/٩ - الظاهرة المغناطيسية الكهربائية	١٠٧
(أ) المجال المغناطيسي الموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائي	١٠٧
(ب) المجال المغناطيسي ملف حامل للتيار الكهربائي	١٠٨
(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي	١٠٩
(د) الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغناطيسي	١١٣
٤/٩ - كيات لتحديد قيمة المجالات المغناطيسية...	١١٤
(أ) الموصلية المغناطيسية - النفاذية	١١٤
(ب) المواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية	١١٤
(ج) الحث المغناطيسي	١١٥
(د) الفيض المغناطيسي	١١٧
(هـ) شدة المجال المغناطيسي	١١٨
(و) النفاذية المطلقة للفضاء الطلق	١١٩
(ز) النفاذية النسبية	١١٩
(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغناطيسية	١٢٠
٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي	١٢١
(أ) المواد المغناطيسية الحديدية	١٢١
(ب) التمغنط والتشبع	١٢١
(ج) التخلفية	١٢٣
(د) المغناطيسات الكهربائية	١٢٤
الفصل العاشر : الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٦
١/١٠ - اختبار فاراداي	١٢٦
٢/١٠ - أشكال الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٧
٣/١٠ - قواعد وقوانين الحث المغناطيسي الكهربائي	١٢٨
(أ) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات	١٢٨
(ب) الحث المغناطيسي الكهربائي من الوجهة التثبيطية	١٣٠
٤/١٠ - العلاقات بين المغناطيسية والكميات المنتجة بالحث	١٣٢

١٣٥	٥/١٠ - الحث الذاتي
١٣٦	٦/١٠ - الحث المتطابق الكهربائي في الموصلات المفلطحة
١٣٩	الفصل الحادي عشر : تأثيرات المجالات الكهربائية
١٣٩	١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة
١٤٠	٢/١١ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات
١٤٠	(أ) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل
١٤٢	(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية
١٤٤	٣/١١ - كميات لتحديد المجالات الكهربائية المتجانسة
١٤٤	(أ) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل
١٤٦	(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية
١٤٨	(ج) معامل الوسط الكهربائي العازل
	(د) العلاقة بين الشحنة ومقاسات الألواح والشدة الكهربائية وثوابت
١٤٩	الوسط الكهربائي العازل
١٥٠	(هـ) المواسعات
١٥١	(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات
١٥٢	(ز) فقد العزل لمواسع
١٥٤	٤/١١ - ترتيبية الدائرة الكهربائية للمواسعات
١٥٤	(أ) توصيل المواسعات على التوازي
١٥٥	(ب) توصيل المواسعات على التوالي
١٥٧	٥/١١ - الأنواع المختلفة للمواسعات
١٥٩	(أ) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة
١٦٠	(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة
١٦١	الفصل الثاني عشر : التيار المتردد
١٦١	١/١٢ - التيار المتردد الجيبي
١٦١	(أ) تعريف فكرة التيار المتردد
١٦٢	(ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغناطيسي
١٦٥	٢/١٢ - كميات لتحديد التيار المتردد
١٦٥	(أ) الموجة والدورة
١٦٦	(ب) التردد والدورة

١٦٧	(ج) التردد الزاوى	...
١٦٨	(د) طول الموجة	...
١٧٠	(هـ) قيم الذروة والقيم المحظية للجهد المتردد والتيار المتردد	...
١٧١	(و) تعيين القيمة المحظية	...
١٧٢	(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيار المتردد	...
١٧٥	٣/١٢ - المقاومات الأومية والحثية والسعوية في دائرة التيار المتردد	...
١٧٥	(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد	...
١٧٥	(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد	...
١٧٦	(ج) تصرف ملفات الحثية في دائرة تيار مستمر	...
١٧٧	(د) تصرف ملفات الحثية في دائرة تيار متردد	...
١٨١	(هـ) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد	...
١٨٣	(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيار متردد	...
١٨٥	٤/١٢ - الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية للتيار المتردد	...
١٨٨	٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثى الأطوار	...
١٨٨	(أ) تمثيل التيار المتردد الثلاثى الأطوار	...
١٩٠	(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا	...
١٩٥	(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثى الأطوار	...
١٩٦	(د) المجال الدوار	...

القسم الثانى : تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

٢٠٠	الفصل الأول : الاختبار القياسى	...
٢٠١	الفصل الثانى : معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها	...
٢٠١	١/١٢ - اختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد	...
٢٠١	(أ) الاختبار بواسطة معين القطب	...
٢٠٢	(ب) الاختبار بواسطة معين الجهد	...
٢٠٢	٢/٢ - اختبار الاستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة	...
٢٠٤	الفصل الثالث : تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية	...
٢٠٤	١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس	...
٢٠٥	٢/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس	...
٢٠٧	(أ) دقة القياس	...

صفحة

٢٠٨	٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار .
٢٠٨	(أ) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس
٢٠٨	(ب) أجهزة القياس بمعدلة متحركة
٢١٠	(ج) أجهزة القياس بملف متحرك
٢١١	(د) أجهزة القياس بسلك ساخن
٢١٢	(هـ) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية
٢١٤	٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة
٢١٥	(أ) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة
٢١٥	(ب) قطرة القياس
٢١٨	٥/٣ - آليات الحركة لقياس الترددات
٢١٨	(أ) جهاز القياس بالريشة
٢١٩	(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة
٢١٩	٦/٣ - آليات الحركة لقياسات القدرة
٢١٩	(أ) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية
٢٢٠	٧/٣ - الترتيب على أجهزة القياس
٢٢١	٨/٣ - إطالة مدى القياس
٢٢٢	(أ) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة
٢٢٣	(ب) إطالة مدى القياس للفصلية
٢٢٤	(ج) إطالة مدى القياس للأميترات
٢٢٦	(د) جهاز القياس متعدد الأغراض للجهد وشدة التيارات
٢٢٨	٩/٣ - وصف لبضع دوائر قياس
٢٢٨	(أ) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد
٢٣٠	(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة
٢٣٣	(ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار

القسم الأول
الأساسيات الفنية الفيزيائية

الفصل الأول

تأثيرات التيار الكهربائي

يصحب التيار الكهربائي عدة تأثيرات ملحوظة (ظواهر) ويمكن تمييزها بما يلي :

١/١ - تأثير حراري .

٢/١ - تأثير صوتي .

٣/١ - تأثير مغناطيسي .

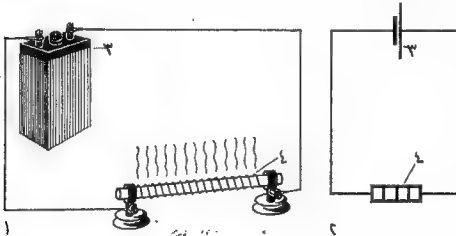
٤/١ - تأثير كيميائي .

٥/١ - تأثير فسيولوجي .

ويستخدم الفزيائيون هذا التأثير الأخير لأغراض العلاج الطبي الكهربائي المتعدد الوجوه . وعند التعامل بالتيار الكهربائي ، تلاحظ تدابير أمان واشتراطات متعددة ، تراعى عند البحث عن دواء باستخدام التأثير الفسيولوجي للتيار الكهربائي .

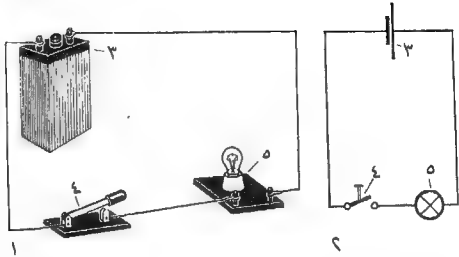
١/١ - التأثير الحراري للتيار الكهربائي :

يوضح الشكل (١) التأثير الحراري للتيار الكهربائي على موصل يسرى فيه هذا التيار . يسخن التيار الكهربائي ذو الشدة الكافية هذا الموصل ، فيشع حرارة للأوساط المحيطة به . وتستخدم أسلاك تسخين من مادة مقاومة ، (وسناقش هذا بمزيد من التفصيل في الفصل السادس) ، إذا استخدمت الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائي في الأغراض الصناعية والأجهزة المنزلية وغيرها .



شكل ١ : التأثير الحراري للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير الحراري .
- ٢ - رسم الدائرة لترتيبة الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد (تستخدم بطارية في هذه الحالة) .
- ٤ - مسخن كهربائي .



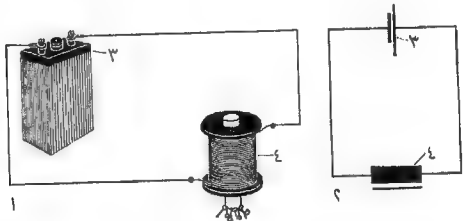
شكل ٢ : التأثير الضوئي للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتيار الكهربائي .
- ٢ - رسم الدائرة لتربية الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي .
- ٥ - مصباح كهربائي .

٢/١ - التأثير الضوئي للتيار الكهربائي :

يبين الشكل (٢) التأثير الضوئي للتيار الكهربائي . ويؤدي مرور التيار الكهربائي ذي الشدة الكافية ، خلال فتيل التسخين لمصباح كهربائي ، إلى تسخين هذا الفتيل لدرجة التوهج ، فيشع ضوء أبيض .

ويوضح المثال السابق هذا النوع من التأثير الضوئي للتيار الكهربائي ، الذي ينتج بواسطة المرحلة المتوسطة للتأثير الحراري للتيار الكهربائي .



شكل ٣ : التأثير المغنطيسي للتيار الكهربائي .

- ١ - تمثيل تخطيطي للتأثير المغنطيسي .
- ٢ - رسم الدائرة لتربية الاختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مغنطيس الرفع الكهربائي .

وينتج تأثير ضوئى آخر فى مصابيح التفريغ (مصابيح تفريغ هوائية ، مصابيح أو أنابيب فلورية) ، وسوف يرد شرح هذا الموضوع فى الجزء الثانى بالفصل الرابع .

٣/١ - التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى :

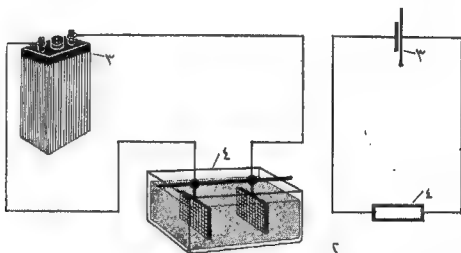
يبين الشكل (٣) التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، فينتج عن مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية ، عبر موصل ، مجال مغنطيسى حول هذا الموصل . فى الشكل (٣) يكون الموصل على هيئة ملف يتكون من عدة لفات . ولزيادة شدة التأثير المغنطيسى ، يولج قلب حديدى داخل الملف . وعلى سبيل المثال لا الحصر ، يكون مغنطيس الرفع الكهربائى ، عبارة عن تصميم لمثل هذا الملف يستخدم تجاريا .

٤/١ - التأثير الكيمياءى للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٤) التأثير الكيمياءى للتيار الكهربائى . فيعرض مرور التيار الكهربائى ذى الشدة الكافية عبر السائل الموصل الكهربائى (ماء مستحضر) ، إلى تغييرات جوهريّة . وعلى سبيل المثال ، يمكن تحليل الماء إلى مكوناته (هيدروجين وأكسجين) ، وذلك بمرار التيار الكهربائى .

٥/١ - التأثيرات التثبيطية للتيار الكهربائى :

لتيار الكهربائى قدرة على التثبيط ، وتسمى هذه القدرة « الطاقة » ويطلق عليها كذلك « الطاقة الكهربائية » نسبة إلى التيار الكهربائى . ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : طاقة حرارية أو طاقة ضوئية أو طاقة كيميائية ، علاوة على إمكان تحويلها إلى طاقة ميكانيكية .



شكل ٤ : التأثير الكيمياءى للتيار الكهربائى .

- ١ - تمثيل تخطيطى للتأثير الكيمياءى .
- ٢ - رسم الدائرة لثربية الاختبار .
- ٣ - مصدر للهد .
- ٤ - حوض إلكترولى .

ويمكن بواسطة الطاقة الكهربائية مثلا ، إحداث عزم لى على عمود إدارة محرك كهربائى مستخدم فى إدارة مكينات التشغيل الصناعية ، ويتضح من ذلك تأثيرات التيار الكهربائى فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . وتؤدى تحويلات الطاقة دورا هاما فى جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية . وتظهر البحوث التى تنتج عنها فى قانون بقاء الطاقة ، أنه فى مضمار تحويل الطاقة : تبقى الطاقة الإجمالية ثابتة ، فبينما تختفى الطاقة من أحد أشكالها ، تظهر فى شكل آخر ؛ وبمعنى آخر « فإن الطاقة لا تستحدث ولا تفنى » .

الفصل الثانى

ما هى الكهرباء

حاول الإنسان كثيرا أن يستكشف هذا الكون الذى يعيش فيه . ولقد بذل مجهودات كثيرة ، وسوف يستمر فى بذل هذه المجهودات للدراسة والوصول إلى معنى الظواهر فى العالم المحيط به . وعليه ، بحث الإنسان فى طبيعة الكهرباء وأصبح يدرك تمام الإدراك مفهوم التيار الكهربائى كجواهر كهربائى ، حتى أصبح هذا المعنى معروفا وواضحا له بدرجة كبيرة . وباستخدام النماذج كطرق عملية ، أمكن معرفة كل ما يتعلق بالكهرباء ، وعلى الأخص عند تفسير الظواهر التى تنقصها المشاهدات المباشرة .

ونبدأ هنا بالحقيقة التالية : تعتمد جميع الظواهر الكهربائية على جزيئات متناهية فى الصغر تحمل أصغر كميات من الشحنات الكهربائية أو الكهرباء، ويطلق على هذه الجزيئات المتناهية فى الصغر «الإلكترونات» .

وتفسير ما هو «الإلكترون» يجب الإلمام التام بالمعرفة التى أدت إلى وضع « النظرية الذرية المتكاملة » . فثلا ، عند تحليل أى مادة فى المعمل نحصل على مواد لا يمكن الحصول بعد ذلك على غيرها ، وتسمى « العناصر » .

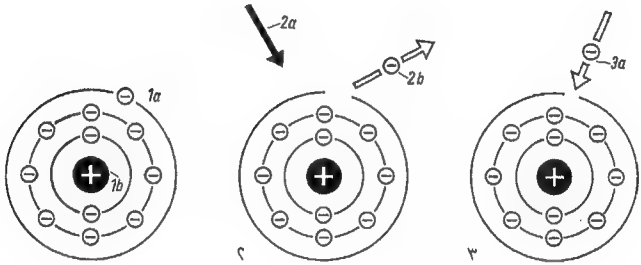
وبالمقارنة مع العدد الكبير من المواد والمركبات التى وجدت فى الطبيعة ، فإن عدد العناصر التى تم تعيينها ما زال صغيرا ، حيث أصبح حوالى المائة فقط .

ويتكون كل عنصر من عدة جزيئات من نفس النوع ، يطلق عليها « ذرات » . ويسمى أصغر جزء من العنصر له نفس خواص العنصر ، (مثل الرائحة والقوة والموصلية الكهربائية والموصلية الحرارية) « الذرة » . وعلى هذا فإن أصغر جزء من قطعة من عنصر النحاس هى « ذرة النحاس » . وكان يقصد بالذرة سابقا ، الشئ غير القابل للانقسام . هذه فكرة قديمة حيث كان يعتقد من قبل أن الذرة لا يمكن تقسيمها (لا انشطارية) . غير أنه أمكن شطر الذرة ، وقد بنى إنتاج الطاقة النووية على شطر هذه الذرات .

وبين الشكل (٥ - ١) نمودجا لذرة . ويساعد هذا النموذج الأساسى فى تفسير ظواهر طبيعية كثيرة : الكهرباء منها ، وغير الكهربائية .

وتتكون الذرة من « نواة ذرية » وإلكترونات أو أكثر ، يدور حول النواة في مدارات يطلق عليها « مدارات » . وهذا يعني أن الإلكترونات تدور على مسافات معينة من هذه النواة .

وتشبه الذرة في تكوينها المجموعة الشمسية . ويمكن اعتبار النواة الذرية كأنها الشمس ، والإلكترونات التي تدور حول النواة كأنها الكواكب السيارة في المجموعة الشمسية . وبمنس الطريقة ، فكما توجد قوى بين الكواكب والشمس تجعل المجموعة الشمسية في حالة استقرار ، توجد كذلك قوى بين النواة الذرية والإلكترونات ، تجعل الذرة في حالة استقرار .



شكل ٥ : ذرة متعادلة ، انفصال الشحنات وتوازنها .

١ - ذرة صوديوم متعادلة . ٢ - التأثير على الذرة .

٣ - إزاحة الإلكترون عن المدار الخارجي . ٤ - إلكترون بشحنة سالبة .

٥ - نواة ذرية بشحنة موجبة . ٦ - توازن الشحنات .

٧ - انفصال الشحنات . ٨ - إلكترون في نطاق قوى التجاذب الكهربية .

تظهر الذرة كأنها في حالة تعادل إذا لم تتعرض لمؤثر خارجي بأي وسيلة ، بمعنى أن أصغر كيات من الشحنات الكهربائية التي تحملها الإلكترونات المحيطة بالنواة ، تعادل في مجموعها الشحنة المضادة التي تحملها النواة الذرية . وتوجد بين هذه الشحنات الكهربائية ذات الخاصية المضادة ، قوى تجاذب تجعل الذرة في حالة تعادل . وللتمييز بين هذين النوعين من الشحنات الكهربائية أو كيات الكهرباء ، تلم الشحنات التي تحملها الإلكترونات بالعلامة السالبة (-) ، وبمعنى آخر يطلق على الإلكترونات أنها سالبة كهربائياً . وتلم شحنات النواة الذرية بالعلامة الموجبة (+) ، وبمعنى آخر يطلق على النواة الذرية أنها موجبة كهربائياً .

إذا تعرضت ذرة (أو عدة ذرات) لمؤثرات خارجية (لفعل ميكانيكي أو كيميائي ، مثلاً) ، فإن شرط التعادل في الذرة يتغير ، ونتيجة لذلك ، تتحرك الإلكترونات ذات الشحنة السالبة . وإذا مرت هذه الإلكترونات عبر نظام مناسب ، يمكن ملاحظة تأثيرات التيار الكهربائي السابق وضعها .

ويطلق على الفعل الواقع على ذرة بالمفهوم الميّن أعلاه « انفصال الشحنة » . ويحدث انفصال الشحنة هذا في مصدر كهربائي (مرمم - دينامو - مولد) .

ويحدث خلل في توازن قوى التجاذب الكهربائية في الذرة أثناء انفصال الشحنات . ويطلق على العملية العكسية لانفصال الشحنات « توازن الشحنات » .

وعندما يقترب أن إلكترون بشكل كاف من ذرة في حالة تخلخل نتيجة لانفصال الشحنة ، تحدث قوى التجاذب الكهربائية تأثيراً يجعل هذا الإلكترون يتحرك في مدار معين حول النواة ، حتى تبدو الذرة كأنها في حالة توازن . ويبين الشكل (٥) توضيحاً لهذه التفسيرات بواسطة نموذج لذرة فلز الصوديوم .

الفصل الثالث

الشحنات الكهربائية

١/٣ - الشحنات الكهربائية الثابتة :

يتميز عادة بين الشحنات الكهربائية الثابتة والشحنات الكهربائية المتحركة . والشحنات الكهربائية الثابتة وظواهرها ، هي موضوع دراسة الكهرباء الاستاتيكية . وقد أصبح اليوم هذا الفرع من الدراسة أقل أهمية من ذلك الخاص بدراسة الشحنات المتحركة . وعلى كل ، فإن مناقشة الظواهر الأساسية للكهرباء الاستاتيكية ، إلى جانب بضع ملاحظات تتعلق بتاريخ هذا الفرع من الدراسة ، سيساعد على تفهم جوهر الهندسة الكهربائية .

(١) لبذة تاريخية عن ظواهر الشحنات الكهربائية :

لاحظ تيلز (Thales) ، الفيلسوف وعالم الرياضيات اليوناني ، منذ حوالي ٢٥٠٠ عام أنه عند ذلك قطعة من الكهرمان بقطعة من الصوف ، نجد أن قطعة الكهرمان تجذب قطع الورق الصغيرة ، وذلك يعنى أن الكهرمان الذى أطلق عليه اليونان اسم الكهرب (elektron) يمكن شحنه كهربائياً . ومع ذلك فقد مضى على هذه الظاهرة حوالي ٢٠٠٠ عام دون أن تلقى أى اهتمام . ومن حوالي ١٦٠٠ عام أجرى عالم الطبيعيات الإنجليزي جيلبرت (Gilbert) أبحاثاً في الظواهر الأساسية للقوى الكهربائية التى يطلق عليها باللاتينية (Vis electrica) . وقد حاول جيلبرت ضمن أعماله الأخرى البحث عن المواد التى يمكن شحنها كهربائياً ، حتى توصل إلى النتيجة التالية : « يعتبر الزجاج وشمع الختم والكبريت من المواد القابلة للكهرب ، على حين تعتبر المعادن غير قابلة للكهرب » .

وبعد ذلك بحوالى ١٢٥ عام أثبت جراى (Gray) ، زميل جيلبرت فى الوطن ، أن ما ذكره جيلبرت عن عدم قابلية المعادن للكهرب غير صحيح .

وفى ألمانيا بمدينة جوريك عاصمة مجد برج ابتكر أوتو (Otto) جهازاً استاتيكياً كهربائياً استخدم فيه كرة من الكبريت تدلك باليد .

وقد تم التعرف على أول نص يقارن بين الإضاءة والشرارة الكهربائية ، كتبه وال (Wall) فى عام ١٧٠٨ . وفى منتصف القرن الثامن عشر تقريباً شرح العالم الفرنسى دوفى (Dufay) التصرف المختلف للمواد المتجانسة بالنسبة لشحناتها الكهربائية . واستخدم بعد ذلك المصطلحان موجب (+) وسالب (-) كهربائياً . وأجريت تجارب فيزيقية كهربائية فى مدينة ليدن (Lyden)

هولندا ، نتج عنها اختراع المواسع (المكثف الكهربائي) . وكان أول مواسع نتيجة لتطوير زجاجة دواء ، وسمى « زجاجة ليدن » .

ويقال ان بنيامين فرانكلين الأمريكي بنى أول مانعة صواعق في عام ١٧٥٢ .

وكانت أعمال كولوم (Coulomb) رائدة في مجال الشحنات الكهربائية . ولقد بدأ

اختباراته في حوالى عام ١٧٨٥ باستخدام ميزان التواء ، يعرف أيضاً باسم « ميزان كولوم » . وبعد نجاح كولوم في قياس القوى المصاحبة للشحنات الكهربائية ، أعلن عن قانونه الخاص بانتشار الشحنات الكهربائية .

وبعد ذلك ، أجرى فاراداي (Faraday) العالم الشهير ، أبحاثاً لمعرفة كيفية توزيع الشحنات الكهربائية على الأجسام .

(ب) تمثيل الشحنات الكهربائية :

التفصيل باستخدام قضيب من الزجاج وقضيب المطاط الصلب :

عند ذلك قضيب من الزجاج بقطعة من الجلد ، أو قضيب من المطاط الصلب بمخرقة من الصوف ، كما في الشكل (٦) فإن هذين القضيبين يجذبان قصاصات الورق الصغيرة كما في الشكل (٧) .



شكل ٦ : قضيب من الزجاج وآخر من المطاط الصلب معدان لانفصال الشحنة .

١ - قضيب من الزجاج .

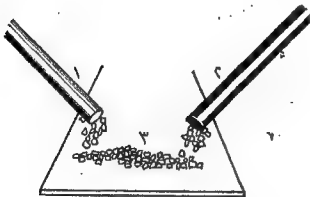
٢ - قطعة من الزجاج .

٣ - قضيب من المطاط الصلب .

٤ - مخرقة من صوف .

يتضح أن الفعل الميكانيكي (الدك) قد سبب انعدام التعادل الكهربائي ، وكما هو واضح أيضاً فقد حدثت قوى تجاذب لقصاصات الورق .

وقد أطلق قديماً على ظاهرة الشحنات الكهربائية الناتجة بهذه الطريقة مصطلح « كهربائية الاحتكاك » ، واليوم أصبح معروفاً أن التلامس الجيد لقضيب من الزجاج مع الجلد يكتفى للحصول على فعل القوة الكهربائية ، كما هو مبين في الشكل (٧) . وعلى ذلك تكون التسمية « كهربائية التلامس » . أكثر دقة من تسمية « كهربائية الدك » .

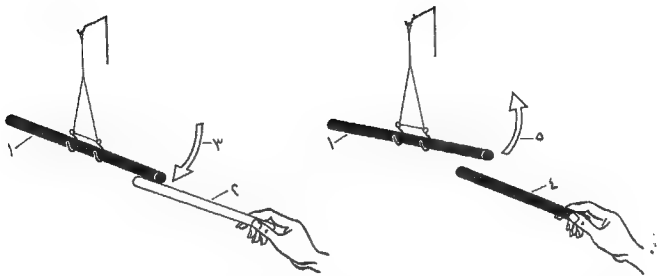


شكل ٧ : القوى الناتجة عن ذلك قضيبين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلب .

١ - قضيب زجاج .

٢ - قضيب مطاط صلب .

٣ - قطع صغيرة من الورق .



شكل ٨ : يوضح الشكل تصرف قضيبين مدلولين أحدهما من الزجاج والآخر من المطاط الصلد تجاه كل منهما للآخر .

- ١ - قضيب من المطاط الصلد معلق حر الحركة .
- ٢ - قضيب زجاج .
- ٣ - تجاذب (قوة - فعل) .
- ٤ - قضيب مطاط صلد .
- ٥ - تنافر (قوة - فعل) .

بعد أن وصفنا فعل قضبان الزجاج والمطاط الصلد المدلوك على قصاصات الورق ، نبين هنا فعل كل منهما على الآخر . وبين الشكل (٨) ترتيباً لقضيب من المطاط الصلد المدلوك ، معلق بحيث يكون حر الدوران . وإذا ذلك قضيب من الزجاج وقرب من قضيب المطاط ، نجد أن الأخير يدور تجاه قضيب الزجاج ، وهذا يعني أنه يجذب له . وعند تقريب قضيب آخر من المطاط الصلد المدلوك إلى قضيب المطاط المعلق ، نجد أن القضيب المعلق يدور بعيداً عن القضيب الآخر ، وهذا يعني أنه تنافر بعيداً عنه .

ونستخلص من مناقشاتنا السابقة لكهربائية التلامس وجود نوعين من الشحنات هما تأثيران ديناميكيان ، أحدهما تجاذبي والآخر تنافري . وبالتالي أمكن الوصول إلى الآتي : « يحمل قضيب الزجاج المدلوك شحنات موجبة (+) ، بينما يحمل القضيب المدلوك من المطاط الصلد شحنات سالبة (-) » وبهذا التصنيف أمكن صياغة قانون أستاكي كهربائي لفعل القوة كما يلي :

تتجاذب الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية معكوسة الإشارة ، بينما تتنافر الأجسام التي تحمل شحنات كهربائية لها نفس الإشارة .

تمثيل التأثيرات الديناميكية (أفعال القوة) ، الشحنات وتعادل الشحنة :

ستفسر هنا التأثيرات الديناميكية لكهربائية التلامس بالإستعانة بالرسومات التوضيحية التالية ، والمبينة على نماذج تستخدم لفهم جوهر الكهرباء . وبين الشكل (٩) كرة من نخاع البلسان (نوع من النبات) ، معلقة بحيث تكون حرة الحركة . ويقرب من الكرة قضيب مدلوك من الزجاج ، وكما هو متوقع من الوصف السابق ، نجد أن الكرة تتحرك في اتجاه قضيب الزجاج .



شكل ٩ : يبين الشكل قصير قضيب مدلولك من الزجاج وكرة من نخاع اللسان تجاه كل منهما الآخر .

١ - كرة من نخاع اللسان معلقة حرة الحركة .

٢ - التجاذب لقضيب الزجاج .

٣ - الرجوع إلى الوضع الأصل .

٤ - عند تقريب لقضيب الزجاج مرة ثانية ، تتنافر الكرة معه .

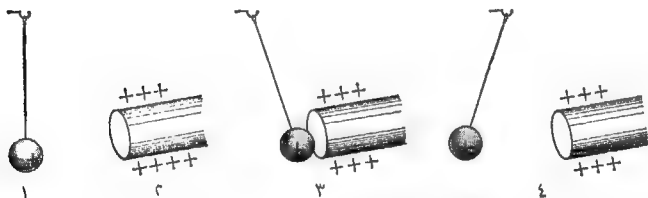
وعند إبعاد قضيب الزجاج عن كرة نخاع اللسان ، نجد أن الأخيرة تعود إلى وضعها الأصل .

بمجرد إبعاد القضيب عنها بمسافة معينة . وبإعادة تقريب القضيب الزجاج مرة ثانية إلى الكرة ، تبعد عنه ، ويعني هذا حدوث قوى تنافرية .

وتفسر هذه الظاهرة بمساعدة الشحنات المختلفة كما هو مبين بالشكل (١٠) .

عند تقريب قضيب مدلولك من المطاط الصلب لكرة من نخاع اللسان تحمل شحنة موجبة كهربائياً ،

نلاحظ حدوث الظاهرة الموضحة في الشكل (١١) .



شكل ١٠ : شرح الظاهرة الموضحة في الشكل (٩) .

١ - كرة من نخاع اللسان متعادلة كهربائياً (الشحنات الموجبة والشحنات السالبة

متساوية) .

٢ - قضيب زجاج يحمل شحنة موجبة .

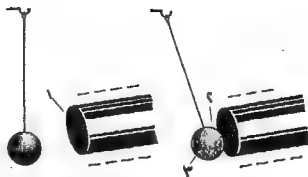
٣ - عند التجاذب ، يحدث تعادل للشحنة (تحمل كرة اللسان شحنة موجبة ، بينما تخفّض

الشحنة الموجبة التي يحملها قضيب الزجاج) .

٤ - عند إعادة تقريب قضيب الزجاج مرة ثانية تتنافر كرة اللسان طبقاً لقانون فعل القوة

المغناطيسية .

شكل ١١ : يبين الشكل مسلك كرة من نخاع
البلسان تحمل شحنة موجبة وقصيب مدلولك من
المطاط الصلب ، كل منهما تجاه الآخر .



- ٢ - يحدث تعادل للشحنة أثناء تجاذب كرة
البلسان وقصيب المطاط .
- ٣ - تصبح كرة نخاع البلسان متعادلة كهربائيا .

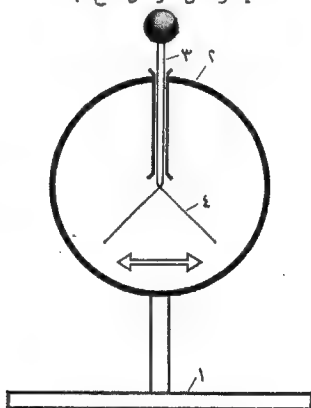
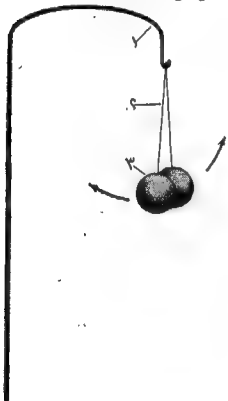
١ - يقرب قصيب من المطاط الصلب
تحميل شحنة سالبة إلى كرة من نخاع البلسان
تحميل شحنة كهربائية موجبة .

(ج) أجهزة لبيان الشحنة الكهربائية وقياسها :

سنشرح هنا أهم الأجهزة المستخدمة في أغراض الكهرباء الاستاتيكية ، وذلك قبل مناقشة عدة
خصائص للشحنة الكهربائية .

البندول الكهربائي :

يتكون من كرة من نخاع البلسان معلقة بخيط مثبت في حامل من مادة عازلة ، أى من مادة

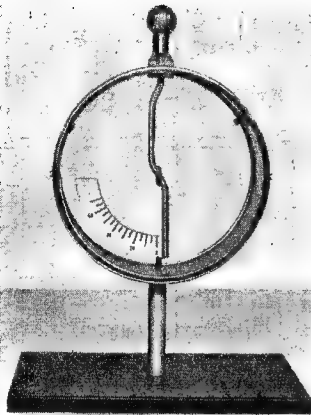


شكل ١٣ : مكشاف وولف الكهربائي :

- ١ - حامل .
- ٢ - أسطوانة معدنية .
- ٣ - أنبوبة عازلة وقصيب معدني .
- ٤ - مؤشر .

شكل ١٢ : البندول الكهربائي :

- ١ - حامل .
- ٢ - خيط .
- ٣ - كرة من نخاع البلسان .



شكل ١٤ :

جهاز براون لقياس فرق الجهد الكهربائي .

غير حساسة للشحنات الكهربائية . في الشكل (١٢) ، تتأرجح كرة البلسان بفعل الشحنات الكهربائية .

مكشاف وولف الكهربائي : (إليكتروسكوب وولف) :

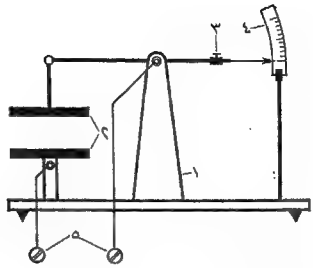
يتكون المكشاف من أسطوانة معدنية مركبة على حامل معزول ، ويثبت داخل الأسطوانة قضيب معدني ، بطريقة بحيث يكون معزولاً عنها . وتشكل نهاية القضيب على هيئة مؤشرين من رقائق الألومنيوم أو ورق الذهب ، كما في الشكل (١٣) ، ويعتمد المؤشران عن بعضهما البعض أثناء شحن المكشاف كهربائياً ، نتيجة للتنافر المتبادل بينهما .

جهاز براون لقياس فرق الجهد :

هذا الجهاز تصميم محسن للمكشاف الكهربائي ، وبه مؤشر واحد بدلاً من المؤشرين ، ويرتكز هذا المؤشر على محور ارتكاز بحيث يكون حر الدوران حوله ، كما في الشكل (١٤) . وينحرف المؤشر أثناء شحن المكشاف كهربائياً . ويبين وضعه على تدريج قيمة جهد معين (فعل القوة الكهربائية) . ويستخدم هذا الجهاز في بيان الجهود ذات القيم العالية .

جهاز قياس فرق الجهد المطلق :

يتكون هذا الجهاز من لوحين من المعدن موضوعين بعكس بعضهما البعض ، على مسافة معينة . يثبت أحد اللوحين في هيكل الجهاز تثبيتاً محكماً بينما يترك الآخر بحيث يكون حر الحركة . ولرافعة الجهاز التي تحمل اللوح المتحرك نهاية على شكل مؤشر موضوع على تدريج . يتعرض



شكل ١٥ :

جهاز قياس فرق الجهد المطلق .

١ - هيكل .

٢ - لوحان معدنيان .

٣ - ثقل اتزان .

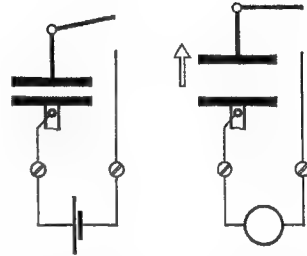
٤ - تدريج .

٥ - طرف نهاية .

٦ - يتقارب اللوحان عند تسليط جهد .

٧ - يحدث تفريغ للشحنة ويعود اللوحان المعدنيان

لوضعهما الأصل عند توصيل جهاز قياس .



اللوحان لتجاذب متبادل عند تسليط شحنة كهربائية على طرفي الجهاز (بتوصيل بطارية مثلاً ، بطرفي الجهاز) . فإذا وصل بعد ذلك فلطمتر مناسب لهذا الغرض بالجهاز ، يحدث توازن للشحنات ويعود اللوحان المعدنيان إلى وضعهما الأصل ، الشكل (١٥) . وتناسب مثل هذه الأجهزة المطلقة بصفة خاصة القياسات الدقيقة (قياسات المقارنة وأعمال المعايرة) .

(د) خواص الشحنات الكهربائية :

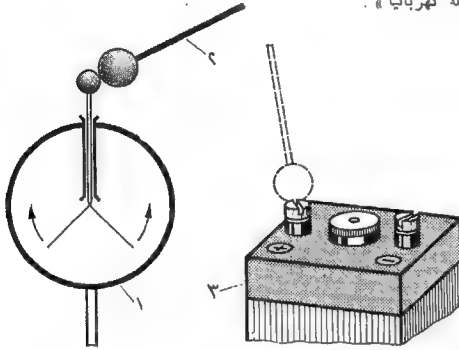
المنقولة والتجزئية :

يوضح الشكل (١٠) والشكل (١١) حقيقة قابلية الشحنات الكهربائية للانتقال (المنقولة) ، ولها خاصية أخرى وهي قابليتها للتجزئة (التجزئية) . ويوضح الشكل (١٦) ترتيبية تساعد على إعطاء البرهان الكافي لإثبات التجزئية للشحنات الكهربائية . فيوصل مستوى اختبار كهربائي ، مكون من مقبض معزول في نهايته كرة معدنية ، وذلك بالقطب الموجب لبطارية . ثم يوصل بعد ذلك بمكشاف كهربائي (إليكتروسكوب) . ونتيجة لذلك تنفرج رقيقتي المكشاف معطية انحرافاً ملحوظاً . ويزداد هذا الانحراف بتكرار هذه العملية .

ويمكن إجراء عكس هذه العملية بعد ذلك . فعندما ننقل الشحنة الكهربائية بواسطة مستوى الاختبار الكهربائي من المكشاف إلى القطب السالب للبطارية ، نلاحظ تصاؤل انحراف رقيقتي المكشاف شيئاً فشيئاً حتى تتلاشى الشحنة منه (الشكل ١٧) .

التلصق السطحي :

لقد أجريت عدة أبحاث لمعرفة كيفية اختراق الشحنات الكهربائية للأجسام ، وهل يحدث هذا الاختراق كلياً أو جزئياً . وتم التوصل الى النتيجة التالية : تستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المواد الموصلة كهربائياً .



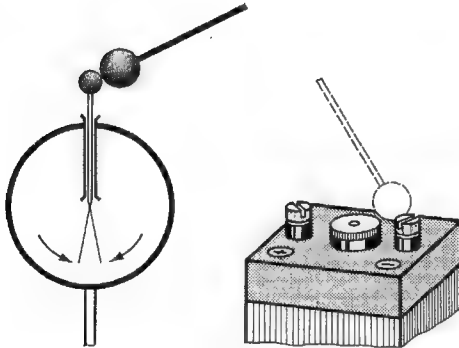
شكل ١٦ :

تجزئية الشحنات
الكهربائية :

١ - مكشاف كهربائي .

١ - مستوى اختبار
كهربائي .

٣ - بطارية .



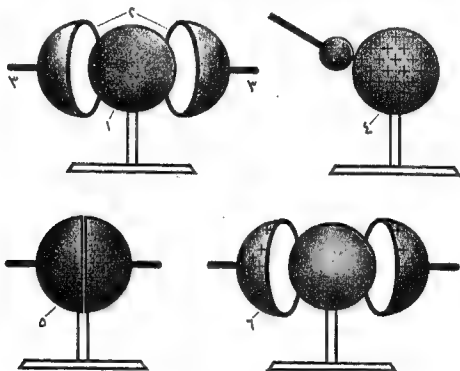
شكل ١٧ :

أسباب تجزئية الشحنات
الكهربائية عند تفريغ
المكشاف .

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بمساعدة الترتيب الموضحة في الشكل (١٨) . وتتكون هذه الترتيب من كرة مجوفة ونصفي كرة مجوفين من المعدن ، ولكل من الأخيرين مقبض معزول . ويمكن لنصفي الكرة أن ينطبقا تمام الانطباق كل على النصف المناظر له من الكرة الكاملة . وتشحن هذه الكرة بمساعدة مستوى اختبار كهربائي من بطارية ، ثم يطبق نصف الكرة على الكرة

المشحونة تطبيقاً تاماً ، ثم يحرّكان بعيداً عنها . وتبعاً لذلك تظهر شحنة كهربائية على نصفي الكرة ،
بينما تصبح الكرة الكاملة متعادلة كهربائياً .

و تستخدم ظاهرة استقرار الشحنة الكهربائية على أسطح الأجسام في الأغراض الهندسية ، فثلاً ،
في صناعة موانع الصواعق ، وفي حجب الأسلاك والمركبات المستخدمة في هندسة التردد العالي ، وفي
دلائل الموجة المعدنية المهيّولة المستخدمة في نقل الطاقة الكهربائية العالية .



شكل ١٨ : التصافي الشحنتات الكهربائية بالسطح :

- | | |
|------------------|---|
| ١ - كرة معدنية . | ٤ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة . |
| ٢ - نصف كرة . | ٥ - نصفاً كرة منطبقان على كرة مشحونة . |
| ٣ - مقبض معزول . | ٦ - شحنتات موجبة على سطح نصفي الكرة بعد إبعادها . |

الشحن بالتأثير :

يبين الشكل (١٩) إمكانية منح أى جسم مكهرب جسماً آخر شحنتات كهربائية ، دون
أى تلامس مباشر بينهما . ويوضع نصفاً كرة بحيث يتلامس وجهها تماماً ، وذلك بين كرتين
معدنيتين (من نفس النوع كما هو موضح بالشكل ١٨) . ويتم شحن الكرتين المعدنيتين كل
منهما بشحنة كهربائية عكس الأخرى (إحداهما موجبة والأخرى سالبة) . يختبر نصفاً الكرة
قبل وضعهما في مكانهما ، للتأكد من أنهما غير مشحونين ، ويتم ذلك بواسطة مكشاف كهربائي .
وبترك نصفي الكرة بين الكرتين المشحونتين فترة وجيزة نجد أنهما أصبحا يحملان شحنة كهربائية .
وهذا يعني أنهما قد شحنا بالتأثير .



شكل ١٩ : الشحن بالتأثير :

- ١ - كرة معدنية عليها شحنة موجبة .
- ٢ - نصف كرة عليه شحنة سالبة .
- ٣ - نصف كرة عليه شحنة موجبة .
- ٤ - كرة معدنية عليها شحنة سالبة .

يلاحظ أن توزيع الشحنات على نصفي الكرة يتم في نفس الوقت . ويحمل نصف الكرة المواجة للكرة الموجبة شحنة سالبة ، بينما يحمل النصف الآخر المقابل لتلك السالبة شحنة موجبة . ونستنتج من هذه الظاهرة ما يلي :

أولاً : حيث أنه ليس هناك تلامس مباشر بين أجسام الاختبار ، فإن الحث ينتج خلال الوسط المحيط بها (وهو الهواء في هذه الحالة) .

ثانياً : أنه ليس من الضروري أن تكون الأجسام التي لا تشحن لا تحمل الكهرباء ، كما يتضح ذلك من فصل الشحنات على نصفي الكرة . ويجب ملاحظة أن الشحن بالتأثير للأجسام يحدث أيضاً في أوساط أخرى مثل الفراغ والزيت .

تكون الشحنات الكهربائية على المعادن قابلة للانتقال والتجزئة ، وتستقر الشحنات الكهربائية دائماً على أسطح المعادن . ويحدث انفصال الشحنات بتقريب جسم مشحون من آخر غير مشحون ، ويكون الأخير متعادلاً كهربائياً من قبل ذلك .

٢/٣ - الشحنات الكهربائية المتحركة :

(١) التيار الكهربائي :

يطلق على الأجهزة والمكونات التي يتم فيها انفصال الشحنة « مصادر للجهد » ، ومن أمثلتها : المراكم والبطاريات السائلة والأعمدة الابتدائية التي تستخدم في مشعل الجيب ، وكذلك المولدات المستخدمة في محطات توليد القوى . وسوف يتم فيما بعد شرح الطريقة التي يتم بها انفصال الشحنات في مصادر الجهد . وفي هذا المجال يشار إلى الحقيقة أن الشحنات الكهربائية المنفصلة تظهر عند أطراف مصادر الجهد العاملة .

يكون الطرف الموجب لمصدر الجهد للشحنة الموجبة هو المكان الذي يوجد به « نقص في الإلكترونات » ، بينما يكون الطرف السالب لنفس المصدر الشحنة السالبة هو المكان الذي به « زيادة في الإلكترونات » .

وعندما يكون طرفا مرمك في وسط كالهواء ، مثلاً ، فإن تعادل الشحنات يستغرق زمناً طويلاً جداً (قد يبلغ عدة سنوات) . أما إذا كان الوسط الموصل بين هذين الطرفين معدنياً كالنحاس مثلاً ، تحدث الظاهرة التالية : تتحرك الشحنات السالبة (الإلكترونات) خلال هذا المعدن

في اتجاه الطرف الموجب لمصدر الجهد . وفي هذه الحالة تظهر شحنات كهربائية متحركة يطلق عليها « سريان التيار الكهربائي » .

وتسمى الأوساط التي يسرى بها ، أو يمر خلالها تيار كهربائي ، حيث تكون هناك شحنات كهربائية متحركة « الموصلات الكهربائية » بينما تسمى الأوساط الأخرى « غير الموصلات » .
ويعتبر التوصيل أو سريان التيار خلال المعادن ، نوعا من أنواع سريان التيار . وهناك أنواع أخرى لسريان التيار الكهربائي خلال السوائل الموصلة (الكتروليت) ، وخلال الغازات والفراغ المخلخل بالغازات ، وكذلك خلال المواد شبه الموصلة . وهذه الأخيرة تكون مجموعة من المواد ، يمكن إدراجها بين الموصلات وغير الموصلات ، مع أخذ تصرفها تجاه الكهرباء في الاعتبار . وسنناقش بالتفصيل فيما بعد الأنواع المتعددة لتوصيل التيار الكهربائي .

(ب) آلية توصيل التيار الكهربائي في المعادن :

التركيب الذري للموصلات المعدنية :

جميع المعادن صلبة ما عدا الزئبق . وتتكون المعادن النقية من ذرات تشكل ترتيباً منتظمة تسمى « التشكيل البلوري للمعادن » كما في الشكل (٢٠) .

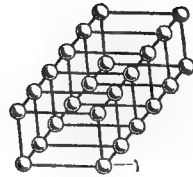
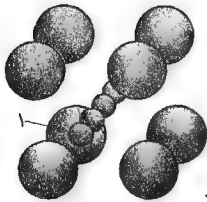
وتتفصل الالكترونات عن ذراتها في هذا الترتيب البلوري للذرات ، ويطلق على الأجزاء الذرية المتبقية « أيونات » . وترتبط هذه الأيونات مع بعضها البعض بتأثير قواها الكهربائية الاستاتيكية محتفظة بأوضاعها بالنسبة لبعضهما البعض . وتتحرك الالكترونات الشاردة خلال المركب المتأين . وإذا لم يتعرض المعدن لأي مؤثر كهربائي ، لا يكون لحركة الالكترونات الحرة أي اتجاه مفضل ، وعلى هذا يكون المعدن متعادلا لا كهربائيا .

حركة الالكترونات الحرة كتوصيل للتيار :

يبين الشكل (٢١) نمودجا من موصل كهربائي به الكترونات حرة يطلق عليها أيضا الكترونات توصيلية . ويعطى الشكل (٢٢) زيادة في الايضاح للنموذج السابق ، مع الأخذ في الاعتبار أن الالكترونات الحرة يمكنها أن تتحرك في الفراغ ، ويمثل هذا الشكل نمودجا لأنبوبة والالكترونات بداخلها كأنها كرات . ويبين الشكل (٢٣) منظرا لقطاع التمثيل المبسط لهذا النموذج .

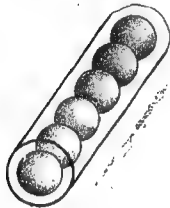
يفسر تعادل الشحنات في حالة توصيل طرفي مصدر الجهد بموصل معدني على الوجه التالي :
يخترق أحد الالكترونات الحرة الموصل المعدني من الجهة التي بها زيادة في الالكترونات ، ويخبط الكترونا آخر مسببا دفعه مسافة بسيطة في الاتجاه الذي به نقص في الالكترونات . ويخبط هذا بالتالي الكترونا ثانيا مسببا دفعه في نفس الاتجاه ، حيث يخبط بدوره الكترونا ثالثا، ويخبط الالكترون الثالث الكترونا رابعا ، وهكذا تتوالى هذه العملية .

ونتيجة لذلك تتحرك الالكترونات الحرة في الموصل المعدني في اتجاه مفصل نحو المكان الذي به نقص في الالكترونات ، حتى يحدث التعادل بين الشحنات .



شكل ٢٠ : تمثيل تخطيطي للتركيب البلوري : شكل ٢١ : نموذج لموصل معدني به إلكترونات حرة :
١ - جزئى أولى . ١ - إلكترونات حرة .

شكل ٢٢ : نموذج مبسط للإلكترونات الحرة .



شكل ٢٣ : منظر قطاع للنموذج المبين في شكل ٢٢

سرعة الانتشار وسرعة الانسياب :

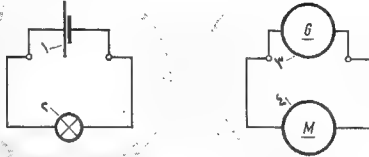
عندما نوقد مثلاً ، مشعل جيب ، تمضى برهة قصيرة من الزمن حتى يشتعل المشعل . وهذا بين أن الكهرباء تنتشر بسرعة قدرها $300,000$ كم/ثانية . ويجب ألا يكون هناك خلط بين سرعة انتشار الكهرباء وسرعة انسياب الإلكترونات . ويمكن استنتاج هذه الحقيقة من الشكل (٢٣) ويحدث انتشار الدفع بسرعة عالية ، وهذا يعنى أن الفترة التى يتلقى خلالها أول وآخر إلكترون دفعة سوف تكون قصيرة جداً ، بينما يكون الزمن اللازم لكي يحل الإلكترون محل آخر ، حتى يصل إلى المكان الذى به نقص فى الإلكترونات أطول نوعاً ما . وقد وجد أن سرعة انسياب الإلكترونات تكون حوالى م/ثانية .

تسمى الشحنات الكهربائية المتحركة « التيار الكهربائى » . وتوصيل التيار فى الموصلات المعدنية هو توصيل للإلكترونات ، أى تتحرك الإلكترونات من المكان الذى به زيادة فى الإلكترونات إلى المكان الذى به نقص فى الإلكترونات . ويميز بين سرعة الانتشار للكهرباء وسرعة الانسياب للإلكترونات .

(ج) دائرة التيار الكهربائى :

يكون أى نظام كهربائى من مصدر للجهد ، وسلك منه إلى جهاز يعمل بالكهرباء ، وسلك آخر منه رجوعاً إلى المصدر « دائرة تيار كهربائية » أو باختصار « دائرة كهربائية » .

وتبين الأشكال من (١) إلى (٤) مثل هذه الدوائر . وفي الحياة العملية تدخل عادة نبائط تشغيل في الدائرة الكهربائية (كما في الشكل (٢) على سبيل المثال) وذلك لفتح وقفل الدائرة بالطريقة المطلوبة .



شكل ٢ : مقارنة بين دائرتين .

٣ - مولد كهربائي كمصدر للجهد .

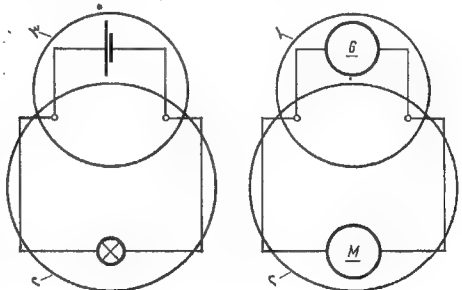
١ - بطارية كمصدر للجهد (بطارية) .

٤ - محرك كهربائي .

٢ - مصباح كهربائي .

الدوائر الكهربائية الداخلية والخارجية :

يبين الشكل (٢٤) دائرتين كهربائيتين ، وبالرغم من اشتغالهما على عناصر أو مركبات مختلفة (مصادر الجهد : محرك ومولد ، مستخدمات كهربائية : مصباح متوهج ومحرك كهربائي) ، فإنه يعبر عن كل منهما برمز واحد . وتميز الدوائر : بدوائر داخلية وأخرى خارجية . ويمرر مثل هذا التمييز لعدة أسباب منها ما يلي : عندما نأخذ في الاعتبار دائرة كهربائية من زاوية سريان الإلكترونات ، نجد أن الإلكترونات تسرى خلال الدائرة الخارجية من



شكل ٢٥ :

دوائر كهربائية داخلية

وخارجية :

١ - دائرة كهربائية

داخلية .

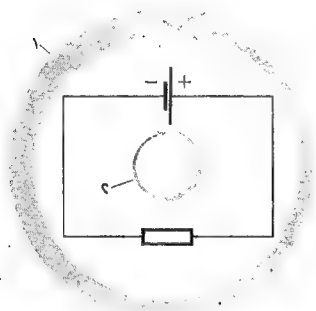
٢ - دائرة كهربائية

خارجية .

الطرف المشحون بالسالب لمصدر الجهد خلال الموصل والجهاز إلى الطرف المشحون بالموجب للمصدر ، وتسرى الإلكترونات في الدائرة الداخلية في اتجاه عكس ذلك (الشكل ٢٥) .

تعريف موجزة لمصطلحات أساسية :

تتكون الدائرة من عدة عناصر . وتكون جميع عناصر الدائرة موصلات كهربائية . ويسرى التيار الكهربائي فقط في الدائرة الكهربائية المغلقة .



شكل ٢٦ :

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

١ - اتجاه سريان الإلكترونات (نتيجة علمية) .

٢ - اتجاه سريان التيار الكهربائي (اتفاق) .

تستخدم مصادر الجهد في توليد الطاقة الكهربائية ، ويمكن أن نستنتج مما سبق (بالفصل الأول) أن مصطلح « توليد الطاقة » ليس تعبيراً دقيقاً ، لأن ما يحدث فعلاً هو تحويل الطاقة . وتستخدم الأسلاك أو الخطوط كممرات للتيار الكهربائي ، من مصدر الجهد إلى الجهاز الكهربائي ثم الرجوع إلى المصدر .

وتحول الأجهزة التي تعمل بالكهرباء الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى منها ، ويطلق على هذه الأجهزة عادة « محولات الطاقة » (حيث لا يتمشى المصطلح « حمل » المستخدم ، في كثير من الأحيان مع وجهات النظر الحديثة) .

وتستخدم نبائط التشغيل أو مجموعة مفاتيح التشغيل في توصيل أو قطع أو فصل التيار الكهربائي

اتجاه سريان الإلكترونات والتيار الكهربائي :

ذكرنا فيما سبق أن اتجاه سريان الإلكترونات في دائرة كهربائية خارجية يكون من المكان الذي به زيادة في الإلكترونات ، أي الطرف المشحون بالسالب أو القطب السالب

لمصدر الجهد إلى القطب الموجب لهذا المصدر . وقبل استنتاج هذه الحقيقة ، كان للمصطلحات أهمية كبرى بالنسبة للهندسة الكهربائية ، كما تقبل الفنيون الكهربائيون واستعملوا بارتياح تعاريف المصطلحات كوسيلة للتفاهم فيما بينهم . وقد اتفق اختياريًا في هذا الخصوص على ما يلي :
يكون اتجاه التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد . ويضاد ذلك السريان الفعلي للإلكترونات . ويبين الشكل (٢٦) هذين الاتجاهين .

ويمكن تفسير عدة ظواهر كهربائية على أساس تيارات الإلكترونات والأيونات ، وسببين ذلك عند ورود أي من هذه التفسيرات في هذا الكتاب .

الفصل الرابع

الكميات الكهربائية الأساسية

تستخلص من نتائج الأبحاث العلمية والهندسية ، قوانين مبنية على « كميات » معرفة بدقة تامة . ومن أمثلة هذه الكميات : الزمن - الطول - الكتلة - القوة .

ولتسهيل كتابة مصطلحات هذه الكميات ، يرمز لها « برموز » تستخدم بكثرة في الصيغ المختلفة . وتستخدم الحروف ، عادة ، لهذه الرموز ، وعلى سبيل المثال : يمكن أن يرمز للطول بالرمز « ل » وهكذا .

والكميات المستخدمة في الهندسة الكهربائية على سبيل المثال هي : شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة ، والمواسعة ، والمحاثة .

ويستخدم لقياس كل كمية وحدة واحدة على الأقل . ووحدة كمية الطول ، مثلا ، هي المتر . وتستخدم الرموز ، عادة ، للتعبير عن الكميات ، بينما تستخدم الاختصارات للدلالة على الوحدات كما يلي :

الوحدة	الاختصار
ثانية	ث
متر	م
كيلوجرام	كجم

والوحدات المستخدمة في الهندسة الكهربائية ، على سبيل المثال ، هي : الامبير ، والفولط ، والأوم .

وينصح في كثير من الحالات بالتعبير عن الوحدات بمضاعفاتها وأجزائها ، فمثلا ، لا يعبر عن الأطوال بالمتر ، عادة ، بل يعبر عنها بمضاعفات المتر وأجزائه .

أمثلة :

لا تعطى المسافات في كثير من الأحيان بالمتر ، بل تعطى بالكيلومتر . فمثلا ، إذا كانت المسافة ١٠ كيلومتر (١٠ كم) ، والكيلومتر هو مضاعف المتر ، أي أن ١ كيلومتر = ١٠٠٠ متر (١ كم = ١٠٠٠ م) .

وعادة ، توقع الأبعاد على رسومات التشغيل الهندسية بالمليمتر ، فثلاً طول رافعة تحكم هو ٢٤٠ مليمتر (٢٤٠ مم) . والمليمتر هو جزء من وحدة المتر ، والمتر يعادل ١٠٠٠ مم ، أى أن (١ م = ١٠٠٠ مم) .

والميجاواط هو مضاعف وحدة الواط . حيث ١ ميجاواط = ١٠٠٠٠٠٠ واط . وفيما يلي اختصارات للمضاعفات وأجزائها الأكثر استخداماً .

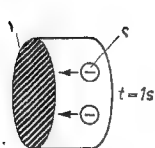
المصطلح	الاختصار	القيمة
Tera	تيرا	T ١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
giga	جيجا	G ١٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ وحدة
mega	ميغا	M ١٠٠٠ ٠٠٠
kilo	كيلو	K ١٠٠٠
hecto	هيكو	h ١٠٠
deca	ديكا	da ١٠
-	-	١
deci	ديسي	d ٠,١
centi	سنتي	c ٠,٠١
milli	مل	m ٠,٠٠١
micro	ميكرو	μ ٠,٠٠٠ ٠٠١
nano	نانو	n ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١
pico	بيكو	P ٠,٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠١

١/٤ - شدة التيار :

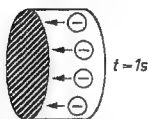
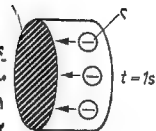
(١) تعريف شدة التيار :

كثيراً ما يستخدم المصطلحان التيار وشدة التيار دون تفرقة بين مدلوليهما ، ورغم وجود علاقة وثيقة بينهما . فقد يؤدي هذا بسهولة إلى سوء تفسير أى ظاهرة في الهندسة الكهربائية وعدم فهمها ، وتعتمد شدة التيار على عدد الإلكترونات المارة خلال مقطع من موصل في الثانية . ويوضح ذلك كل من الشكل (٢٧) والشكل (٢٨) .

والشكل (٢٧) مثال لموصلين بمقطعين مختلفي المساحة ، ويمر خلالهما نفس العدد من الإلكترونات (ثلاثة في الحالتين) في الثانية . وطبقاً لهذا الشكل يتضح أن شدة التيار تكون متساوية في كل من الموصلين بغض النظر عن مساحة مقطعيهما المستعرضين .



شكل ٢٧ : يمر نفس العدد من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين في نفس الوقت .
١ - مساحة المقطع المستعرض .
٢ - إلكترونات .



شكل ٢٨ : يمر عدد مختلف من الإلكترونات خلال مساحة مقطعين مستعرضين لموصلين في نفس الوقت .
١ - مساحة المقطع المستعرض .
٢ - إلكترونات .



والشكل (٢٨) مثال لموصلين متساويين في مساحة مقطعيهما المستعرضين ، وعدد الإلكترونات التي تمر خلال مساحة المقطع المستعرض العلوى يساوى نصف عدد الإلكترونات التي تمر في نفس الزمن خلال مساحة المقطع المستعرض السفلى . وتبعاً لذلك ، فإن شدة التيار في الموصل العلوى يساوى نصف شدة التيار ، فقط ، في الموصل السفلى .

(ب) وحدة شدة التيار :

وحدة شدة التيار هي الأمبير (وتكتب باختصار مـب)

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
شدة التيار	ت	أمبير	مـب

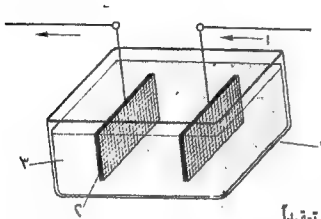
وقد أطلق اسم أمبير على وحدة شدة التيار نسبة إلى عالم الفيزياء الفرنسي أمبير (Ampère).

وتختلف شدة التيار اختلافاً كبيراً كما يبين ذلك الحصر التالى :

الصواعق	حتى ٢٠٠٠٠٠ أمبير
أفران الصهر	١٠٠٠٠٠ أمبير
إنتاج الألومنيوم	١٠٠٠٠ أمبير
في القسام	١٠٠٠ أمبير
بادئ الحركة للسيارة	١٠٠ أمبير
الأجهزة المنزلية الكهربائية	حتى ٦ أمبير
الثلاجة الكهربائية	٥,٠ أمبير
المشعل الكهربائي	٢,٠ أمبير
أنايبب إلكترونية لاسلكية	٥,٠٠٠٠ أمبير
سماعة أذن للمستقبل الكاشف	١,٠٠٠٠٠٠٠٠ أمبير

(ج) إيجاد قيمة شدة التيار :

شدة التيار كمية أساسية ، أى يمكن استنتاج كميات أخرى منها . فمثلا ، يمكن استنتاج الكمية « المساحة » بسهولة من الكمية الأساسية « الطول » (الطول بالمتر ، والمساحة $= \text{ل} \times \text{ل}$ بالمتر المربع) . ويمكن بسهولة نوعاً ما إيجاد أو تعيين قيمة الوحدة الأساسية للكميات الأساسية المعينة . فمثلا ، يحفظ المتر الامامى الدولى فى باريس ، ويعتبر الوحدة الأساسية للطول . ويوجد منه عدة نسخ إمامية فى عدة بلاد أخرى . وبواسطة مثل هذه الأئمة ، يمكن على المستوى الدولى ، ملائمة أى خطأ قد ينشأ فى مجال تقييم وقياس الكميات ، التى تعتمد على الطول .



شكل ٢٩ :

حوض جلفانى أو إلكترولى يستخدم لترسيب الفضة .

١ - وعاء .

٢ - إلكترود .

٣ - محلول نترات الفضة القلوى .

ولإيجاد وحدة شدة التيار نجد أنها أكثر تعقيداً .

واستخدمت لهذا الغرض لفترة طويلة الكيفية التالية :

يمرر تيار كهربائى خلال حوض جلفانى ، (الشكل ٢٩) ، يحوى محلول نترات الفضة القلوى كسائل موصل كهربائياً . فيتحلل هذا المحلول كيميائياً ، وترسب نترات الفضة على أحد الإلكترودين . وتكون شدة التيار أمبير واحد عندما يرسب هذا التيار كمية من الفضة زنتها ١,١١٨ مليجرام فى الثانية الواحدة .

وقد اتفق على التعريف التالى :

تكون قيمة شدة تيار كهربائى أمبير واحد ، إذا رسب هذا التيار ١,١١٨ مليجرام فضة بمروره فى محلول نترات الفضة القلوى لمدة ثانية واحدة .

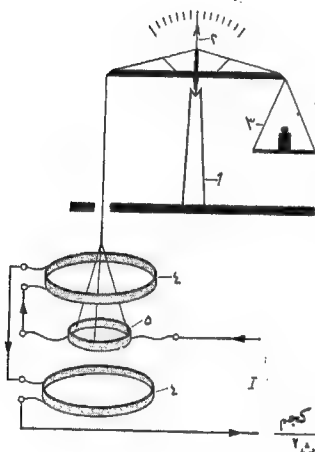
ويتضح من ذلك صعوبة إيجاد شدة التيار بهذه الطريقة ، وخاصة إذا أريد تعيينها بدرجة عالية من الدقة . ويضاف إلى ذلك رغبة الأوساط العلمية والهندسية فى إدراج الوحدات والكميات تحت نظام يمكن فيه ربطها بعضها ببعض . ولهذا السبب تعرف اليوم شدة التيار بأنها قوة . وببنفس الطريقة ، كما هو الحال فى جهاز قياس فرق الجهد المطلق المستخدم فى قياس الجهود على أساس التأثيرات الديناميكية ، يستخدم ميزان الأمبير لتعيين شدة التيار الكهربائى . وفيما يلى شرح لميزان الأمبير طبقاً لراى (Raleigh) .

بالشكل (٣٠) أساس ميزان الأمبير هذا . فيرتكز ذراعاً رافعة على إطار ميزان . ويحمل أحد طرفي الرافعة كفة ميزان ، ويحمل الطرف الآخر ملفاً مقلطاً قطره حوالى ٢٠٠ م . ويوضع هذا الملف بين ملفين آخرين مقلطحين غير متحركين ، وقطر كل منهما ضعف قطر الملف المتحرك . وتوصل الملفات الثلاثة بموصلات رفيعة من الفضة . فعند مرور التيار الكهربائي في هذه الملفات ، يحدث فيها تأثيرات ديناميكية تدفع بالملف المتحرك بعيداً عن وضع اتزانه . ويمكن إعادة التوازن إلى أصله بوضع سنج في كفة الميزان . وتجري حسابات معقدة لتحمين القوة التي تبذلها هذه السنج للاحتفاظ بالملف في حالة اتزان ، وذلك عند مرور تيار شدته أمبير واحد .

شكل ٣٠ :

ميزان الأمبير طبقاً لرأى :

- ١ - إطار الميزان .
- ٢ - تدريج يتحرك على مؤشر .
- ٣ - كفة ميزان .
- ٤ - ملفان مثبتان .
- ٥ - ملف متحرك .



شكل ٣١ :

إيضاح خاص بتعريف شدة التيار الكهربائي :

- ١ - موصلان متوازيان بطول لا نهائي .
- ٢ - الفراغ الذي يحدث به تيار شدته أمبير واحد

مار بموصلين ، قوة قدرها 10×2 م كجم $\frac{1}{2}$

وبناء على عمليات الوزن هذه ، وعلى عمليات رياضية معقدة إلى حد ما ، تعرف شدة التيار ، بقوة يحدثها موصلان متوازيان لا نهائياً الطول . ويوضح الشكل (٣١) تعريف شدة التيار $t = 1$ أمبير .

٢/٤ - كمية الكهرباء :

(١) تعريف « كمية الكهرباء » :

أمكن شرح وتعريف شدة التيار الكهربائي بمساعدة الشكل (٢٧) ، والشكل (٢٨) ، بأنه عبارة عن عدد معين من الإلكترونات تمر عبر مساحة مقطع مستعرض لموصل في ثانية واحدة .

وحيث أن وحدة شدة التيار قد عرفت ، فإنه يمكن أيضاً تعريف كمية الكهرباء ووحدها .
إذا اعتبرت كمية الكهرباء (ك) بأنها عدد ما من الإلكترونات ، فيمكن إيجاد شدة التيار الكهربائي (ت) ، من خارج قسمة كمية الكهرباء (ك) على الزمن (ز) الذي يستغرقه مرور كمية الكهرباء هذه ، طبقاً للصيغة التالية :

$$\text{الزمن (زمن مرور التيار)} = \frac{\text{كمية الكهرباء}}{\text{شدة التيار الكهربائي}}$$

$$\text{أى أن } \frac{ك}{ز} = ت$$

ويمكن أن نستنتج من هذه الصيغة تعريف كمية الكهرباء بأنها تساوى حاصل ضرب شدة التيار فى الزمن :

$$\text{كمية الكهرباء} = \text{شدة التيار} \times \text{الزمن}$$

$$ك = ت \times ز$$

(ب) وحدة كمية الكهرباء :

وحدة كمية الكهرباء هى الأمبير - ثانية

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
كمية الكهرباء	ك	أمبير-ثانية	مب-ث

ويطلق على كمية الكهرباء ، والمعروفة أيضاً بالشحنة الكهربائية، كولوم ، نسبة إلى عالم الطببيات الفرنسى كولوم (Coulomb) ، واختصارها (كب) وينتج من هذا أن

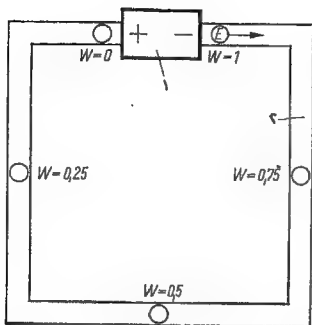
$$١ \text{ أمبير-ثانية} = ١ \text{ كولوم} \quad (١ \text{ مب-ث} = ١ \text{ كب})$$

وتنتج كمية كهرباء قدرها ١ مب.ث (١ كب) عند إمرار تيار كهربائى شدته ١ أمبير (١ مب) لفترة مقدارها ثانية واحدة (١ ث) .

٤/٣ - الجهد :

(١) تعريف الجهد :

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل ، (حيث أن الطاقة والشغل هما كيتان فيزيائيتان من نفس النوع) . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . فجزء من الطاقة الناتجة عن ذلك قضيب من الزجاج وتشغيل دينامو أو مولد ، وكجزء من الطاقة الكيميائية فى بطارية مشعل الجيب ، يعطى للإلكترونات كطاقة دفع أو شغل (ش) . ويمكن طاقة الدفع هذه من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مغلقة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازناً فى الشحنات . وتسمى طاقة الدفع « الجهد » وكانت تسمى من قبل « التوتر الكهربائى » ولكن بطل استعمال هذه التسمية .



الشكل ٣٢

- كيفية تصور فكرة الجهد الكهربائي.
- ١ - مصدر جهد (فولطية)
 - ٢ - مسار التيار الكهربائي

ويوضح الشكل (٣٢) المقصود بالمصطلح « جهد » . فينتقل الإلكترون مزوداً بطاقة دفع $W=0$ ، في حالة قفل الدائرة ، من القطب السالب لمصدر الجهد (١) خلال مسار التيار (٢) . وهذا يستنفد الإلكترون شغلا ، تتحول أثناءه قوة الدفع إلى شكل آخر من الطاقة عادة ، طاقة حرارية . وعندما يقطع الإلكترون ربع مسار التيار ينخفض جهده (قدرته الدافعة) بمقدار الربع ، وعندما يقطع هذا الإلكترون نصف مسار التيار ، ينخفض جهده بمقدار النصف . ويصبح جهده صفرًا عندما يصل إلى القطب الموجب لمصدر الجهد .

استهلاك التيار وهبوط الجهد :

أوردنا في بداية هذا الكتاب بصفة عامة ملاحظات تتعلق بتأثيرات التيار الكهربائي من الناحية التنشيطية . وقد أصبح يسيراً علينا ، بعد معرفة هذه الملاحظات بالإضافة إلى المعلومات التي سبق الإشارة إليها عن الجهد ، أن نزيل من الأذهان الخطأ الشائع المسمى « استهلاك التيار الكهربائي » ، حيث لا يمكن أبداً أن يستهلك التيار الكهربائي أو الإلكترونات المتحركة ، وكذلك فإن الجهد لا يستهلك ، بل يتحول شكل من الطاقة إلى شكل آخر منها . وفيما يتعلق بالجهد فقد قيل في هذا المجال : ينخفض الجهد تدريجياً في دائرة التيار المغفلة ، وذلك يحدث على طول المسار من القطب السالب إلى القطب الموجب . ويطلق على هذا « هبوط الجهد » أو « الفقد في الجهد » أو « هبوط الشلطية » في الدائرة .

(ب) وحدة الجهد :

« الفلظ » هو وحدة الجهد .

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الجهد	ج	فلظ	فولت

وقد أطلقت هذه التسمية على وحدة الجهد نسبة إلى عالم الطبيعيات الإيطالي فولتا (Volta) . وتختلف الجهود اختلافاً كبيراً ، كما يبين ذلك الحصر التالي :

النصواعق	حتى ١٠٠٠٠٠٠٠ فلف
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية جداً	٣٨٠٠٠٠ فلف
خطوط نقل القدرة الكهربائية للجهود العالية	٦٠٠٠٠ فلف
شمعات الشرر للمحركات البنزين	١٥٠٠٠ فلف
خطوط الإنارة	٢٢٠ فلف
بطاريات السيارات	١٢ فلف
دخول معدات اللاسلكي	٠,٠٠٠٠٠٠٠ فلف

(ج) إمكانيات إيجاد قيمة وحدة الجهد :

يمكن الحصول على جهد ج قدره فلف واحد (١ فل) ، وذلك بمساعدة مصدر للجهد جلفاني (خلية جلفانية) تكون قيمة جهده معروفة بدقة ، يمكن اعتباره عملياً مصدراً ثابتاً للجهد . وهذا المصدر للجهد هو « خلية وستون الإمامية » . ويمكن الحصول على جهد قدره فلف واحد من خلية وستون الإمامية ولها جهد ثابت قدره ١,١٠٨٣ فلف عندما تكون درجة حرارة الوسط المحيط ٢٠°م .

وهناك تعريف آخر للجهد على أساس القدرة الكهربائية . وسوف نناقش هذا التعريف فيما بعد بالفصل الثامن .

(د) التعاريف المتعددة للجهد :

وضعت تعاريف متعددة في مجال تطوير الهندسة الكهربائية ، وذلك للتعبير عن الخصائص المميزة للجهود وتطبيقاتها .

جهد مسلط :

هو الجهد الفعال في الدائرة الداخلية ، أي في خلية جلفانية أو دينامو أو مولد . ويطلق أيضاً على هذا الجهد « القوة الدافعة الكهربائية الابتدائية » . والدلالة على الجهد المسلط بصفة خاصة يرمز له بالرمز (ج) .

جهد طرفي :

هو الجهد الذي يمكن قياسه عند أطراف مصدر الجهد .

جهد التشغيل أو الجهد المقتن : هو الجهد الذي تضمن محطة القوى الكهربائية تغذية شبكة المستهلكين به كجهد تشغيل (١١٠ فلف ، أو ٢٢٠ فلف أو ٣٨٠ فلف) ، ومن جهة أخرى ، فإن الجهد المقتن هو الجهد الذي تصمم أو تقن الأجهزة الكهربائية للتشغيل عليه (مثلاً مصباح ١٢ فلف للسيارة) .

جهد منخفض : يبين هذا التعبير مدى للجهود يصل إلى ٤٢ فلت . ولا يشكل هذا المدى عادة خطراً على حياة الإنسان .

جهد المآخذ الرئيسي : يبين هذا التعبير مدى للجهود يشتمل على الجهود بين محطات القوى والمستهلكين تنحصر في الآتي :

نظام جهد عال جداً	(حتى حوالي ٢٨٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد عال	(حتى حوالي ١١٥٠٠٠ فلت)
نظام جهد متوسط	(حتى حوالي ٣٠٠٠٠ فلت)
نظام جهد منخفض	(١١٠ فلت ، ٢٢٠ فلت ، ٣٨٠ فلت)

٤/٤ - المقاومة :

(أ) تعريف المقاومة :

يستخدم تعبير « مقاومة » في الهندسة الكهربائية للدلالة على كمية كهربائية . ولا يستخدم للدلالة على عنصر كهربائي يعوق سريان التيار الكهربائي . وإنما يطلق على هذا العنصر « مقاوم » وسوف نتعرض لشرحه فيما بعد بالفصل السادس .

وتم إيضاح الكمية الكهربائية التي يطلق عليها مقاومة بطريق غير مباشر في شرح الجهد الكهربائي : عندما يمر التيار الكهربائي خلال مسار معين ، تفقد الإلكترونات الطاقة الدافعة (الجهد) ، التي يتحول معظمها إلى حرارة . ويمكن صياغة ذلك كما يلي : يحدث مسار التيار (سواء كان هذا المسار معدنياً أو سائلاً موصلاً كهربائياً) مقاومة في طريق الإلكترونات ، ويلزم للإلكترونات التغلب على هذه المقاومة للوصول إلى تعادل في الشحنة . وسوف نبين بالفصل الخامس ، ضرورة الاعتماد على الكمية « مقاومة » في شرح قوانين الدائرة الكهربائية .

(ب) وحدة المقاومة :

وحدة المقاومة هي « الأوم »

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
مقاومة	م	أوم	Ω

واشتقت هذه التسمية لوحدة المقاومة من اسم عالم الطبيعيات الألماني أوم (Ohm) .

(ج) إمكانية إيجاد قيمة وحدة المقاومة :

للمحصل على وحدة المقاومة تستخدم طريقة ماثلة لتلك المستخدمة للحصول على جهد قدره فلت واحد من مصدر جهد جلفاني ، باستخدام مسار معين للتيار .

تنتج مقاومة قدرها أوم واحد (Ω) ، إذا سري تيار كهربائي خلال عمود من الزئبق حرارته مساوية لدرجة ذوبان الجليد ، ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢ وطوله ١٠٦٣ متر . وهناك تعريف آخر للمقاومة يستنتج من العلاقة المتبادلة بين الجهد وشدة التيار ، وسوف نشرح ذلك بالفصل الخامس .

الفصل الخامس

العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد والمقاومة (قانون اوم)

سنعرض في أثناء الشرح التالى ، إلى بعض أجهزة القياس التى ستأتى تفاصيل تصميمها وطرق تشغيلها فيما بعد بالجزء الثانى من هذا الكتاب (الفصل الثالث) . ويستخدم الأميتر لقياس شدة التيار ، ويستخدم الفولتميتر لقياس الجهد ، بدرجة دقة تكفى للغرض المطلوب .

ويمكن إيضاح العلاقة بين الكيانات الكهربائية ، مثل شدة التيار والجهد والمقاومة ، باستخدام أجهزة القياس الكهربائية وبضخ ترتيبات اختبار . ووجود مثل هذه العلاقات يفرض نفسه من خلال ظاهرة أو أخرى ، ومن المؤكد استخدام كل فرد لها :

١ - لا يضىء مشعل جيب كهربائى مقننه ٤ فلط إذا وصل بهامود جاف جهده ١,٢ فلط .
٢ - يعطى كشاف دراجة حوالى نصف ضوءه ، إذا دار دينامو هذه الدراجة بسرعة تقدر بنصف سرعته المقننة فقط .

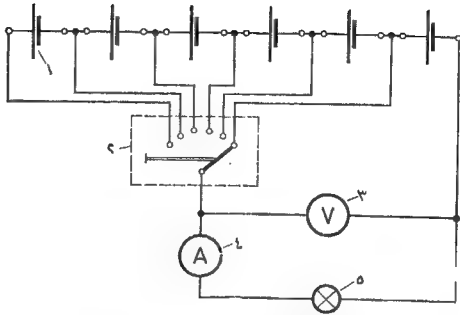
٣ - يمتدق فى الحال مصباح كهربائى مقننه ١١٠ فلط ، إذا وصل بمصدر جهده ٢٢٠ فلط .

١/٥ = الخواص المميزة لشدة التيار / الجهد :

والشكل (٣٣) مثال لرسم الدائرة الترتيبية التى تستخدم فى تحديد العلاقة المتبادلة بين شدة التيار والجهد .

تتكون هذه الترتيبية من بطارية بست خلايا ، جهد كل منها ٢ فلط ، وبذلك يكون الجهد الكلى للبطارية ١٢ فلط . ويمكن الحصول على مراحل على الجهود الآتية : ٢ فلط ، ٤ فلط ، ٦ فلط ، ٨ فلط ، ١٠ فلط ، ١٢ فلط ، وذلك باستخدام مفتاح خلايا كهربائى (مفتاح منظم) . ويوصل فى هذه الترتيبية فلتميتر لبيان الجهد . وتشتمل هذه الترتيبية أيضاً على أميتر ومصباح متوهج مقننه ١٢ فلط . وتؤخذ ست قراءات وتسجل للجهد وشدة التيار المقابلة كما يلى :

رقم القراءة	الجهد (ج) بالفلط	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٢	٠,٢٥
٢	٤	٠,٥١
٣	٦	٠,٧٥
٤	٨	١,٠٠
٥	١٠	١,٢٥
٦	١٢	١,٥٠



- شكل ٣٣ : ترتيبية رسم دائرة لتحديد الخصائص المميزة - شدة التيار / الجهد :
- ١ - بطارية بست خلايا ، جهد كل منهما ٢ فلط .
 - ٢ - مفتاح خلايا كهربائي (مفتاح منظم كهربائي) .
 - ٣ - فلط متر .
 - ٤ - أمبير .
 - ٥ - مصباح ١٢ فلط .

الخاصية الأولى التي يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هي : تزداد شدة التيار بازدياد الجهد .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من قسمة الجهد على شدة التيار ت وهي :

سلسل	١	٢	٣	٤	٥	٦
خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$	٨	٧,٨	٨	٨	٨	٨

وعلى ذلك تكون قيم خارج القسمة $\frac{ج}{ت}$ متساوية في جميع الحالات . ($\frac{ج}{ت}$ ثابت) .

ومنه نحصل على النتيجة التالية :

تزيد أو تنقص كل من شدة التيار والجهد بنفس النسبة ، أى أنهما يتناسبان تناسباً طردياً ج α ت . وتوضح هذه العلاقة برسم منحني بياني بين شدة التيار والجهد (الشكل ٣٤) . فتكون العلاقة بينهما عبارة عن خط مستقيم ويمر بنقطة الأصل (دالة خطية) .

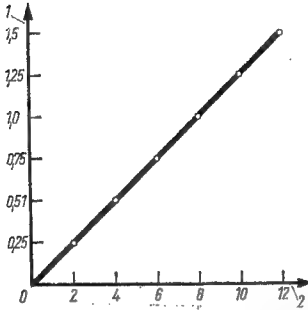
٥/٢ - الخصائص المميزة لشدة التيار / المقاومة :

وبين الشكل (٣٥) مثلاً لرسم الدائرة لترتيبة تستخدم لتحديد العلاقة بين شدة التيار والمقاومة.

شكل ٣٤ : منحنى التيار والجهد :

١ - التيار (بالأمبير) .

٢ - الجهد (بالفولط)



شكل ٣٥ :

ترتيبة لتحديد الخصائص المميزة لشدة التيار والمقاومة .

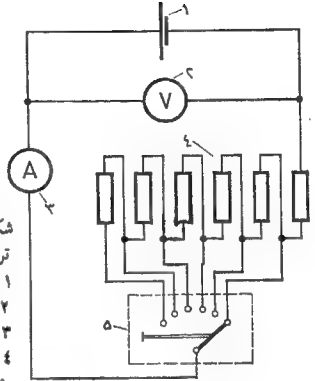
١ - مصدر للجهد ٢٤ فولط .

٢ - فلوپتر .

٣ - أميتر .

٤ - ترتيبة بست مقاومات قيمة كل منها ٨ أوم .

٥ - مفتاح انتقاء كهربائي .



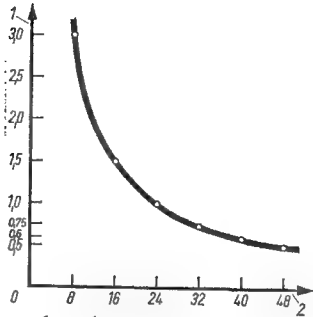
وتتكون هذه الترتيبة من مصدر للجهد يعطى ٢٤ فولط ، وفلوپتر (يستخدم فقط للتأكد من ثبات جهد المصدر على ٢٤ فولط ، طول فترة التجربة) ، وأميتر ، و ترتيبة من ست مقاومات ، مقاومة كل منها ٨ أوم . وتوصل هذه المقاومات بمفتاح إنتقاء كهربائي ، للحصول مقاومات في الدائرة : ٨ ، ١٦ ، ٢٤ ، ٣٢ ، ٤٠ ، ٤٨ أو ٤٨ ، حسب وضع المفتاح . وتؤخذ ست قراءات ، وتسجل شدة التيار لسكل قيمة من المقاومات السابقة كما يلي :

رقم القراءة	المقاومة (م) بالأوم	شدة التيار (ت) بالأمبير
١	٨	٣
٢	١٦	١,٥
٣	٢٤	١,٠
٤	٣٢	٠,٧٥
٥	٤٠	٠,٦
٦	٤٨	٠,٥

الخاصية الأولى التي يمكن استنتاجها من القياسات السابقة هي :

تنخفض شدة التيار بازياد المقاومة .

ويمكن استنتاج خاصية أخرى من المنحنى البياني لشدة التيار والمقاومة (الشكل ٣٦) كما يلي :



شكل ٣٦ : منحنى شدة التيار والمقاومة :

١ - التيار بالأمبير .

٢ - المقاومة بالأوم .

تناسب شدة التيار والمقاومة تناسباً عكسياً ، إذا كان الجهد ثابتاً (ج = ثابت)

$$I \propto \frac{1}{R}$$

٣/٥ - تفسير قانون أوم :

تستنتج الصيغة التالية من الخاصيتين السابقتين وهما :

ت $I \propto R$ ج

(تتناسب شدة التيار والجهد تناسباً طردياً)

$$I \propto R$$

(تتناسب شدة التيار ومقلوب المقاومة تناسباً طردياً)

من ت $I \propto \frac{1}{R}$ ج

$$I \propto \frac{1}{R}$$

يتبع أن ت $I \propto \frac{1}{R}$ ج

وما سبق نحصل على الآتي :

شدة التيار والمقاومة

$$I = \frac{24 \text{ فولت}}{8 \Omega} = 3 \text{ أمبير}$$

شدة التيار والجهد

$$I = \frac{2 \text{ فولت}}{8 \text{ فولت/أمبير}} = 0.25 \text{ أمبير}$$

$$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 16} \text{ أمبير } 1,5$$

$$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 24} \text{ أمبير } 1$$

$$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 32} \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 40} \text{ أمبير } 0,6$$

$$\frac{24 \text{ فلت}}{\Omega 48} \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{4 \text{ فلت}}{7,8 \text{ فلت/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,5$$

$$\frac{6 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 0,75$$

$$\frac{8 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,00$$

$$\frac{10 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,25$$

$$\frac{12 \text{ فلت}}{8 \text{ فلت/أمبير}} \alpha \text{ أمبير } 1,50$$

وعلى أساس هذه المقارنات للقيم العددية يمكن استنتاج الآتي :

$$1 - \text{ يعنى التعبير } \frac{\text{فلت}}{\text{أمبير}} \text{ التعبير } \Omega \text{ تماماً}$$

٢ - تعطى قيمة شدة التيار في جميع الحالات باستخدام خوارج القسمة كما يلي :

$$\text{من } \frac{2}{8} = 0,25 \quad \text{وفلت} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلت}} = \text{أمبير}$$

$$\text{تنتج } 0,25 \text{ أمبير}$$

$$\text{ومن } \frac{24}{8} = 3 \quad \text{فلت} \times \frac{\text{أمبير}}{\text{فلت}} = \text{أمبير}$$

$$\text{ينتج } 3 \text{ أمبير}$$

وحيث أن خارج قسمة $\frac{ج}{م}$ في جميع الحالات يساوى قيمة ت (شدة التيار) ،

نحصل على الآتي :

$$ت = \frac{ج}{م}$$

$$\text{شدة التيار} = \frac{\text{الجهود}}{\text{المقاومة}}$$

وقد قام جورج سيمون أوم (١٧٨٩ - ١٨٥٤) بتحقيق هذ الصيغة الأساسية ، وتعرف باسم « قانون أوم » .

وفي حالة معرفة أى كيتين يمكن تحديد الكية الثالثة بواسطة هذا القانون .

وعندما نرغب فى وضع الكية المطلوب تحديدها على يمين الصيغة ، تجرى هذه العمليات الرياضية :

$$(١) \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ج \text{ هى المطلوب نقلها إلى يمين الصيغة بتبديل طرفى الصيغة}$$

$$\frac{ج}{م} = ت \quad \text{كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ج}{م} \times م = ت \times م \quad \text{بضرب كل من الطرفين فى م}$$

$$ج = ت \times م \quad \text{بحذف م من الطرف الأيمن}$$

وعليه :

$$ج = ت \times م \quad \text{الجهد = شدة التيار } \times \text{ المقاومة .}$$

$$(٢) \quad ج = ت \times م \quad \text{ومطلوب نقل م إلى الطرف الأيمن من الصيغة .}$$

$$\text{ينتج أن } ت = \frac{ج}{م} \quad \text{بتبديل الطرفين كل مكان الآخر .}$$

$$\frac{ت}{ت} = \frac{م \times ت}{ت} \quad \text{بقسمة كل من الطرفين على ت}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{بحذف ت من الطرف الأيمن .}$$

$$م = \frac{ج}{ت} \quad \text{المقاومة} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}}$$

ويمكن أيضا وضع م فى الطرف الأيمن من الصيغة المستعملة فى (١)

$$ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad ت = \frac{ج}{م} \quad , \quad \frac{ت}{ج} = \frac{ج}{م \times ج}$$

$$\frac{ت}{ج} = \frac{١}{م} \quad \text{وينتج أن } م = \frac{ج}{ت}$$

ويقصر استخدام قانون أوم فى الهندسة الكهربائية . والدقة فى التعبير ، يطبق هذا القانون على الموصلات المعدنية فى نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . وسوف نتعرض لهذا الموضوع ونناقش القوانين المشتقة من قانون أوم فيما بعد .

ولزيادة الإيضاح ، نعيد هنا كتابة الثلاث صيغ السابق مناقشتها :

$$\frac{\text{الجهد ج}}{\text{المقاومة م}} = \text{شدة التيار ت}$$

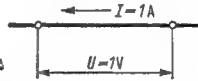
$$\text{الجهد ج} = \text{شدة التيار ت} \times \text{المقاومة م}$$

$$\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \frac{\text{الجهد}}{\text{شدة التيار}} = \text{المقاومة م}$$

(١) تعريف وحدة المقاومة :

أمكن استنتاج أن خارج قسمة الجهد على شدة التيار $\frac{\text{ج}}{\text{ت}}$ = مقدار ثابت ، وذلك من

الخصائص المميزة لشدة التيار والجهد ، وكذلك أوضح لنا قانون أوم أن $\frac{\text{ج}}{\text{ت}} = \text{م}$ ، ونستخلص من ذلك أنه : عندما يمر تيار شدته أمبير واحد عند جهد قدره فلت واحد ، تكون قيمة المقاومة مساوية أوم واحد (١ Ω) ، ويساعد الشكل (٣٧) في تفهم التعريف الصحيح لوحدة المقاومة .



شكل ٣٧ : شرح وحدة المقاومة :

الأوم الواحد : هو المقاومة الكهربائية بين نقطتين على موصل معدني درجة حرارته منتظمة ، ويسرى به مؤقتا تيار كهربائي ثابت قيمة شدته أمبير واحد ، عندما يكون هناك جهد قيمته فلت واحد بين هاتين النقطتين .

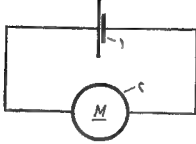
٤/٥ - حسابات الدائرة الكهربائية الأساسية :

تعرف الدائرة الكهربائية الأساسية بأنها دائرة بسيطة تتكون أساسا من مصدر للجهد ، وجهاز يعمل بالكهرباء . كما تعرف أيضا بالدوائر البسيطة التي تشتمل بالإضافة إلى ذلك على مصادر ومفاتيح كهربائية توضع في مسار التيار الكهربائي ، وفيما يلي بضعة أمثلة لحسابات مبنية على قانون أوم فيما يختص بالدائرة الكهربائية الأساسية :

مثال :

محرك كهربائي دمية (الشكل ٣٨) قيمة مقاومته م ٢٦,٧ Ω ولا يتعدى مقنن شدة تياره ٠,٤٥ أمبير . فا الجهد المطلوب تسليطه على المحرك أثناء تشغيله ؟

المعطيات : $\Omega \ 26,7 = م$:
 ت = $0,45$ أمبير
 المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٨ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد .
- ٢ - محرك كهربائي دمية .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 0,45 \times 26,7$$

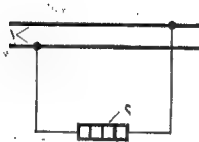
$$ج = 12,015 \text{ فلت}$$

قيمة الجهد المطلوب تسليطه على المحرك الدمية أثناء تشغيله ١٢ فلت .

مثال :

مسخن غاطس (الشكل ٣٩) مقاومته 75Ω ، وشدة التيار المسموح بها $2,75$ أمبير .
 فما الجهد الذي يمكن تشغيل المسخن عليه ؟

المعطيات : $\Omega \ 75 = م$:
 ت = $2,75$ أمبير
 المطلوب : الجهد ج



شكل ٣٩ : دائرة أساسية تشتمل على :

- ١ - مصدر جهد (مأخذ رئيسي) .
- ٢ - مسخن (مسخن غاطس في هذه الحالة) .

الحل :

$$ج = ت \times م$$

$$ج = 2,75 \times 75$$

$$ج = 206,25 \text{ فلت}$$

يمكن تشغيل المسخن الفاطس من مأخذ رئيسى جهده ٢٢٠ فلت .

مشال :

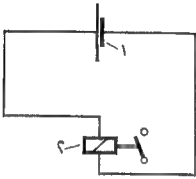
الجهد عبر متابع عدة تليفون ٢٤ فلت (الشكل ٤٠) . وقياس شدة التيار وجدت ٠,٣ أمبير .
فما مقاومة هذا المتابع ؟

المعطيات : ج = ٢٤ فلت
= ٠,٣ أمبير
المطلوب إيجاد : المقاومة م

الحل :

$$م = \frac{ج}{ت} = \frac{٢٤}{٠,٣} = ٨٠ \text{ } \Omega$$

تكون مقاومة المتابع ٨٠٠ Ω

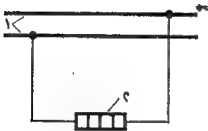


شكل ٤٠ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ - مصدر للجهد .
٢ - متابع .

مشال :

مسخن موصل بمأخذ رئيسى جهده ١١٠ فلت (الشكل ٤١) والتيار (ت) المار بالمسخن شدته ١٨,٥ أمبير . فما قيمة مقاومة المسخن م ؟

المعطيات : ج = ١١٠ فلت
ت = ١٨,٥ أمبير
المطلوب : المقاومة م



شكل ٤١ : دائرة أساسية تشتمل على :
١ - مأخذ رئيسى (مصدر للجهد) .
٢ - مسخن (فرن تجفيف فى هذه الحالة) .

الحل

$$م = \frac{ج}{ت} ، م = \frac{١١٠}{١٨,٥} ، م = ٥,٩٤ \Omega$$

تكون قيمة مقاومة المسخن $م = ٥,٩٤ \Omega$

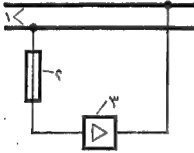
مثال :

هل يكتفى مصهر مقننه أمبير واحد ، للاستخدام في مكبر ، موصل على مصدر للجهد ج ٢٢٠ فلت . ومقاومته $م = ٢٨٠ \Omega$ (الشكل ٤٢) ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م = ٢٨٠ أوم

المطلوب : شدة التيار



شكل ٤٢ : دائرة أساسية تشتمل على .

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصهر .

٣ - مكبر .

الحل :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٢٠}{٢٨٠} ، ت = ٠,٨ \text{ أمبير}$$

شدة التيار بالتقريب هي ٠,٨ أمبير .

لذا يكتفى له مصهر مقننه أمبير واحد .

مثال :

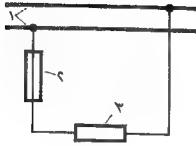
تركيبات كهربائية تعمل على جهد تشغيل قدره ٢٢٠ فلت ، ومقاومتها $٢,٣١ \Omega$.

فا شدة التيار ت التي يتحملها المصهر اللازم لوقاية هذه التركيبات ؟

المعطيات : ج = ٢٢٠ فلت

م = ٢,٣١ Ω

المطلوب : شدة التيار ت



شكل ٣ : دائرة أساسية تشتمل على :

١ - مأخذ رئيسي (مصدر للجهد) .

٢ - مصهر .

٣ - مقاوم .

الحل :

$$I = \frac{P}{U} = 9,52 \text{ أ } , \quad I = \frac{220}{2,31} = 95,67 \text{ أ } , \quad I = \frac{P}{U} = 9,52 \text{ أ }$$

يتحمل المصهر تيارا كهربائيا شدته ١٠ أمبير لوقاية هذه التركيبات .

الفصل السادس

مواد الموصلات — ومواد المقاومات — والمواد العازلة

يطلق على المواد التي توصل التيار الكهربائي ، بصفة عامة ، موصلات — على حين يطلق على المواد التي لا توصل التيار الكهربائي ، عند درجة حرارة محيطية قدرها ٢٠°C ، مواد غير موصلة أو عوازل . وعادة تصنف المواد طبقاً للموصلية الكهربائية على الوجه التالي :

موصل — شبه موصل — غير موصل ، أو مواد موصلات — مواد مقاومات — مواد عازلة .
ويبين كل من هذين التصنيفين قصوراً في المعنى المقصود منه ، وبالأخذ في الاعتبار لما يهدف إليه هذا الكتاب ، نجد أن التصنيف الأخير هو المفيد ، وذلك بالرغم من أنه لا يشمل على المجموعة الأكثر أهمية من الناحية الفنية ، والتي تدعو للاهتمام في الفيزياء الكهربائية ، وهي مجموعة « شبه الموصلات » . وعلى كل فإننا سوف نتناول مجموعة شبه الموصلات ضمن موضوعات أخرى وهي المقومات الترانزستور .

ويبنى تصنيف المواد إلى مواد موصلات ومواد مقاومات ومواد عازلة ، على الاستخدام المطلوب لها في الهندسة الكهربائية . وتعتبر ببساطة مواد الموصلات ومواد المقاومات من الناحية الفيزيائية الكهربائية ، موصلات ، بينما تعتبر المواد العازلة غير موصلات .

وتستخدم المعادن وسبائكها كمواد موصلات أو مواد مقاومات . ويستخدم الكربون كذلك وخاصة بعض أشكاله المعدلة مثل الجرافيت كمواد مقاومات .

وفيما يلي مناقشة الفروق بين مواد الموصلات ومواد المقومات والمواد العازلة ، مع أخذ تصرفها كهربائياً في الاعتبار .

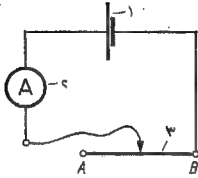
١-٦ — العلاقة بين المقاومة (م) والطول (ل) ومساحة المقطع المستعرض (ج) للموصل :

(أ) العلاقة بين مقاومة موصل وطوله :

يمكن تحديد العلاقة بين مقاومة موصل وطوله بسهولة ، وذلك بمساعدة ترتيبية الاختبار الموضح رسم دائريتها بالشكل (٤٤) . وينصح باستخدام سلك مقاومة طوله متر واحد ، من ملف تسخين كهربائي .

ويوصل السلك المقاوم بين نقطتي أ ، ب (الشكل ٤٤) وتشغل الترتيبية .

شكل ٤ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتحليل العلاقة بين مقاومة موصل (م) وطوله (ل) .



- ١ - مصدر للجهد (حوالي ٢ فولت) .
- ٢ - أميتر (يقيس حوالي ٣ أمبير) .
- ٣ - سلك مقاوم طوله متر واحد .

وبين الأميتر قيمة تطلق عليها هنا (س) ، وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
س	١ متر

ثم يجري التوصيل بين الأميتر ونقطة في منتصف سلك المقاومة أ ب - نجد أن قراءة الأميتر تصبح ضعف القيمة السابقة .

وعلى هذا تكون :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
٢ س	$\frac{1}{2}$ متر

وبتكرار هذه العملية ينتج ما يلي :

القيمة المبينة	طول سلك المقاومة
٤ س	$\frac{1}{4}$ متر

ويتضح عملياً أن هناك علاقة بين القيمة المبينة وطول سلك المقاومة . وعلى هذا يمكن التوصل إلى النتيجة التالية :

- ١ - تزداد المقاومة كهربائية (م) بزيادة طول الموصل (ل) .
- ٢ - تتناسب قيمة المقاومة الكهربائية (م) تناسباً طردياً مع طول الموصل .

$$م \propto ل$$

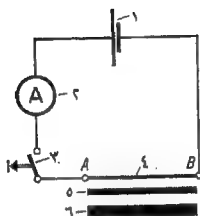
(ب) العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض :

يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين مقاومة موصل ومساحة مقطعه المستعرض ، وذلك بمساعدة ترتيبية الاختبار الموضحة بالشكل (٤٥) . ويوصى هنا باستخدام ثلاثة موصلات من نفس المادة ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢ ، ٢ م^٢ ، ٤ م^٢ ، ولها نفس الأطوال .

وبتسجيل قراءة الجين عندما نوصل أى من هذه الموصلات الثلاثة فى الدائرة ، نحصل على النتيجة التالية :

مساحة المقطع المستعرض للموصل	القيمة المبينة
١ م ^٢	س
٢ م ^٢	٢ س
٤ م ^٢	٤ س

شكل ٥ هـ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة موصل (م) ومساحة مقطعه المستعرض (ج) .



- ١ - مصدر الجهد .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - مفتاح كهربائى .
- ٤ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ م^٢ .
- ٥ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٢ م^٢ .
- ٦ - موصل طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ٤ م^٢ .

نستنتج ما يلى :

- ١ - تقل المقاومة الكهربائية لموصل بزيادة مساحة مقطعه المستعرض (وعلى ذلك يسمح بمرور تيار كهربائى شدته أعلى) .
- ٢ - تتناسب المقاومة الكهربائية (م) لموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض (ج) .

إدماج هاتين العلاقتين :

تتبعاً لقانون أوم يمكن استنتاج ما يلى :

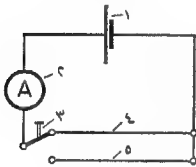
$$\begin{aligned} \rho &\propto \frac{l}{A} \\ \rho &\propto \frac{l}{A} \end{aligned}$$

وهذا يعنى أن المقاومة تتناسب تناسباً طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه المستعرض :

٢/٦ - المقاومة والموصلية :

(١) المقاومة :

تبني العلاقات السابقة على الأبعاد الهندسية (الطول ومساحة المقطع المستعرض) ، والمقاومات لموصلات من نفس النوع . وعلى ذلك يكون من المفروض ضمنا إيجاد العلاقة بين المقاومة الكهربائية (م) لموصل ، وبين مادته التي يصنع منها .
يمكن بسهولة توضيح العلاقة بين المقاومة الكهربائية ومادة صنعه ، بمساعدة ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل (٦) . ويوصى باستخدام موصلين لهما نفس الأبعاد ، ولكن من مادتين مختلفتين .



شكل ٦ : رسم الدائرة لترتيبة اختبار لتمثيل العلاقة بين مقاومة

موصل ومادة صنعه .

١ - مصدر للجهد .

٢ - أميتر .

٣ - مفتاح كهربائي .

٤ - موصل نحاس : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢

٥ - موصل صلب : طوله متر واحد ومساحة مقطعه المستعرض ١ مم^٢

نستنتج من هذا الاختبار ما يلي :

١ - تكون شدة التيار في حالة إدخال موصل نحاس في الدائرة مساوية ٨ مرات شدة التيار

التي تمر في موصل صلب له نفس الأبعاد عندما يوضع في نفس الدائرة .

٢ - تختلف شدة التيار التي تمر في الموصلات باختلاف مواد صنعه ، إذا أدخلت هذه

الموصلات في نفس الدائرة ، وكانت أبعادها واحدة .

لكل مادة مقاومتها الكهربائية الخاصة بنوعها ، وتسمى « المقاومة النوعية للمادة » .

تسمى الخاصية التي تربط بين المقاومة النوعية لمادة وأبعادها $l = ١$ متر ، $j = ١$ مم^٢ ،

« بمقاومة المسادة » وإذا رمزنا للمقاومة بالرمز ρ (رو) ، نجد أن المقاومة (م) تتناسب

تناسبا طرديا مع المقاومة .

$$\rho \propto M$$

قانون المقاومة :

$$\text{تدمج العلاقات } M \propto \frac{l}{j}$$

$$M \propto \rho$$

لنحصل على قانون المقاومة :

$$\frac{l \times \rho}{ج} = م$$

وبنى هذا القانون أن المقاومة الكهربائية لأي موصل ، تعتمد على مقاومة مادة صغره وطوله ومساحة مقطعه المستعرض .

ولتحديد قيمة المقاومة لأي موصل ، تحمل المعادلة $م = \frac{l \times \rho}{ج}$ لإيجاد ρ

$$\frac{l \times \rho}{ج} = م \quad \text{بتعديل طرفي المعادلة}$$

$$م = \frac{l \times \rho}{ج}$$

$$\frac{ج}{ل} \times م = \frac{ج}{ل} \times \frac{l \times \rho}{ج}$$

بالاختصار في الطرف الأيمن ينتج :

$$\frac{ج}{ل} \times م = \rho \quad \text{ل (بالتر) ، ج (بالمليمتر المربع) .}$$

وعندما تكون م بالأوم (Ω) ، ل (بالتر) ، ج (بالمليمتر المربع) نحصل على

$$\frac{\rho}{م} \quad \text{وحدة } \rho \text{ بهذا الشكل}$$

(ب) الموصلية :

في حالات متعددة ، لا يكون قانون المقاومة بصيغته السابقة ملائماً للعمليات الرياضية التي تتطلبها حسابات أطوال الموصلات ومساحات مقاطعها المستعرضة ومقاوماتها الكهربائية أو مقاوماتها النوعية .

ويفضل عادة استخدام مقلوب قيمة المقاومة $\frac{1}{\rho}$ ، ويطلق عليه « الموصلية » ويرمز

لها بالرمز χ (كآبا) .

$$\frac{1}{\rho} = \chi \quad \text{وعلى ذلك تكون الموصلية}$$

وتبعاً لذلك تحسب المقاومة لأى موصل على أساس :

$$\frac{L}{\text{جـ}} \times \frac{1}{\%} = \rho \quad \text{أو} \quad \frac{L \times \rho}{\text{جـ}} = \rho$$

مثال :

مطلوب عمل ملف مقاومته $\Omega \ 200$. وإذا استخدم سلك من النحاس المعزول مساحة مقطعه المستعرض جـ = 0.02 م^2 وموصليته $\% = 56$ ، احسب طول السلك المطلوب لهذا الملف بالأمتر .

المعطيات :

$$\Omega \ 200 = \rho$$

$$\text{جـ} = 0.02 \text{ م}^2$$

$$\% = 56 = \frac{1}{\rho \text{ م}^2}$$

المطلوب : الطول ل بالأمتر

الحل :

من المعادلة :

$$\frac{L}{\% \text{ جـ}} = \rho$$

$$\rho = \frac{L}{\% \text{ جـ}} \quad \text{بتبديل طرفى المعادلة}$$

$$\rho \times \% \times \text{جـ} = \frac{L \times \% \text{ جـ}}{\% \text{ جـ}}$$

بضرب كل من الطرفين فى $\% \text{ جـ}$

وبالاختصار فى الطرف الأيمن ينتج أن :

$$\rho \times \% \times \text{جـ} = L$$

بالتعويض فى المعادلة الأخيرة

$$L = 200 \times 56 \times 0.02$$

$$L = 224 \text{ متر}$$

طول السلك المطلوب هو 224 متر .

(١) مواد الموصلات وقم مقاومتها :

اتضح لنا من الشرح السابق أن المقاومة النوعية لمواد الموصلات أقل من المقاومة النوعية للمقاومات أو المواد العازلة . علاوة على أن هناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار المادة التي يصنع منها الموصل ، وهي متانته ، ومقاومته للتأثيرات الخارجية ، وإمكانية تصنيعه . ويوضح الجدول التالي مواد الموصلات الأكثر شيوعا للاستخدام في الهندسة الكهربائية :

مادة الموصل	المقاومية ρ	$\frac{\rho}{\text{م}^2 \Omega}$	الموصلية % $\frac{1}{\rho \text{ م}^2 \Omega}$
فضة	٠,٠١٦٥		٦١
نحاس أحمر	٠,٠١٧٨		٥٦
ألومنيوم	٠,٠٢٨٧		٣٥
برونز	٠,٠١٨	إلى ٠,٠٥٦	٥٥ إلى ١٨
سبيكة الدري	٠,٠٣٣		٣٠
صلب	٠,١٠	إلى ٠,١٥	١٠ إلى ٦,٦
رصاص	٠,٢١		٤,٨

وهذه القيم محسوبة عند درجة حرارة محيطية قدرها ٢٠ ° م ، ويلاحظ أن القيم المذكورة للموصلية والمقاومية ليست ثابتة بدرجة مطلقة ، حيث أنها تعتمد على النسبة المئوية لنقاء مادة الموصل .

(ب) وصف موجز لمواد الموصلات :

الفضة : ولها أعلى موصلية ولكنها لا تستخدم كمادة موصلات في تركيبات القوى الكهربائية والتلديزة ، وذلك نظرا لارتفاع سعرها وقلة متانتها الميكانيكية . ومع ذلك فقد تستخدم الفضة كعنصر صهر أو ملامسة في مجموعة مفاتيح التشغيل الميكانيكية الكهربائية .

النحاس : ويعتبر المسادة التقليدية للموصلات . وله كل الخواص الكهربائية والميكانيكية اللازمة للاستخدام في الهندسة الكهربائية ، لذا أصبح النحاس مادة الموصلات المفضلة . ومنذ حوالي ٢٠ عاما ، بدأ الألومنيوم يحل محل النحاس تدريجيا في خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية .

الألومنيوم : وقد أصبح مادة هامة للهندسة الكهربائية بعد تطوير العمليات الاقتصادية لإنتاجه ، إلى جانب خفة وزنه بالنسبة للنحاس . فثلا ، يساوى وزن خط التوصيل الألومنيوم نصف وزن الخط النحاسى المساوى له في المقاومة الكهربائية بالرغم من أن مساحة المقطع المستعرض لخط الألومنيوم تكون أكبر . وبفضل استخدامه في تكوين المكثات الكهربائية وأنظمة نقل القدرة الكهربائية .

البرونز : وهو سبيكة من النحاس . ولإنتاج موصلات مصنوعة منه ، يضاف إلى النحاس ما قيمته ٣ في المائة من مكونات تشتمل على القصدير والمغنسيوم والزنك والسليكون والبوتاس والفوسفور .

وتستخدم الموصلات البرونز في الأماكن التي تتعرض للتآكل الكثيف الناتج عن إجهادات ميكانيكية ، مثل خطوط الجسر الكهربائية (السكك الحديدية الكهربائية والترام والتروى باس) وما شابهها ، والأجزاء الدوارة (المبدلات وحلقات الانزلاق) في المكثات الكهربائية .

سبيكة الألومنيوم : وهى سبيكة من الألومنيوم . ويتكون بإضافة كميات صغيرة من المغنسيوم والحديد والسليكون إلى الألومنيوم . ويؤدي هذا إلى تخفيض الموصلية من ١٠ إلى ١٥ في المائة بمقارنتها مع الألومنيوم النقي ، ومع ذلك فهذا يؤدي إلى ازدياد مقاومة الشد بحوالى ٧٠ في المائة .

الصلب : ويندر استخدامه على حدة كمادة موصلة . وتستخدم أسلاك الصلب أساسا لتزيد من متانة خطوط نقل القدرة للجهد العالى . ولهذا الغرض فإنها تجدل مع موصلات الألومنيوم . وتستخدم القضبان الصلب في بعض حالات الجسر الكهربائى كوصل رجوع لتكئة الدائرة .

الرصاص : وغالبا ما يستخدم كمادة موصلة في المراكم التي تحتوى على أحماض (البطاريات) وتصنع أطراف توصيلها وموصلات خلاياها الداخلية من الرصاص (وذلك نظرا لمقاومته للاحماض) ويستخدم الرصاص كوصل تأريض في الكبلات ذات أغلفة الرصاص .

٤/٦ - مواد المقاومة :

(١) قيمتها ووصف موجز لها :

تستخدم مواد المقاومة في صناعة المقاومات . ويبين الجدول التالى بضع مواد مقاومة من الشائعة الاستخدام .

الموصلية	المقاومية ρ	مادة المقاومة
$\frac{1}{\Omega \text{ م}^2}$	$\frac{\Omega \text{ م}^2}{1}$	
٢,٣	٠,٤٣	نيكولايت (ذرنجيد النيكل)
٢,٣	٠,٤٣	مانجنين
٢,٠	٠,٥٠	كونستنتان
٠,٩١	١,٠	نيكل كروم
٠,٠٣٣	٣٠	مقاومات كربونية

وبوجه عام ، يميز بين مواد المقاومة المعدنية ومواد المقاومة الخزفية . وتشمل الأخيرة عادة على الأنواع الكربونية بالرغم من أنه يستخدم فيها جسم يكون عادة على شكل أنبوبة خزفية لحمل طبقة الكربون التي تكون مادة المقاومة .

تكون مواد المقاومة المعدنية الأكثر شيوعا في الاستخدام عبارة عن سبائك وهي :

النيكولايت : ويتكون من ٥٤ في المائة نحاس أحمر و ٢٦ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة زنك .

المانجنين : ويتكون من ٨٦ في المائة نحاس أحمر و ١٢ في المائة مانجنيز و ٢ في المائة نيكل .

الكونستنتان : ويتكون من ٥٨ في المائة نحاس أحمر و ٤١ في المائة نيكل و ١ في المائة مانجنيز .

النيكل كروم : ويتكون من ٧٨ في المائة نيكل و ٢٠ في المائة كروم و ٢ في المائة مانجنيز .

وتشكل هذه المواد على هيئة أشكال مستديرة أو مقلطحة وتعتبر مواد المقاومة هذه من المواد الأساسية في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية وأنواع كثيرة من المقاومات .

وتعتمد مواد المقاومة الخزفية أساسا على السليكون ، وتكون عادة ، على شكل أنابيب أو قضبان ، وتستخدم في صناعة أجهزة التسخين الكهربائية كمقاومة تسخين .

(ب) أنواع المقاومات :

سنشرح هنا الأنواع المختلفة للمقاومة الأومية . ويطلق عليها هذه التسمية لتمييزها عن المقاومات الحثية والمقاومات السعوية . وتنتمي هذه الأنواع من المقاومات مع قوانين دائرة التيار المستمر .

المقاومات الأومية ذات القيم غير المتغيرة :

يبين الشكل (٤٧) الرمز التخطيطي لمقاوم غير متغير .

ويبين الشكل (٤٨) مثالا لمقاوم تسخين فتيل في مسخن بشكل قطع مكافئ* .

ويبين الشكل (٤٩) مثالا لمقاوم تسخين فتيل في مكواة كهربائية .

ويبين الشكل (٥٠) مثالا لمقاوم تسخين فتيل لفرن تلمدين (فرن تخمير) .



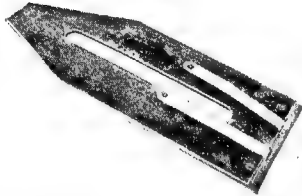
شكل ٤٧ : رمز تخطيطي لمقاوم غير متغير



شكل ٤٩ : مقاوم فتيل تسخين لمكواة

كهربائية VEB Elektroworme

Sornewitz GDR



شكل ٤٨ : مسخن أو مقاوم فتيل تسخين

لمسخن بشكل قطع مكافئ* VEB

Elektroworme Sornewitz GDR

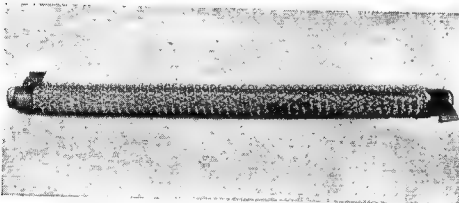
شكل ٥٠ : مقاوم فتيل

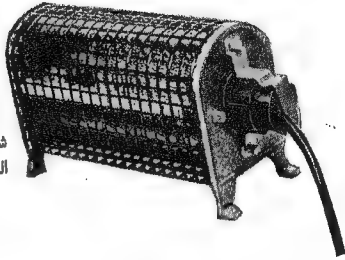
تسخين لفرن تلمدين .

VEB

Elektroworme

Sornewitz GDR





شكل ٥٢ : مقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .



شكل ٥١ : مقاوم تولى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .
شكل ٥٣ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير على خطوات :

ويمثل الشكل (٥١) رمزا تخطيطيا لمقاوم تولى من السلك الملفوف لأجهزة العرض السينمائي .
ويمثل الشكل (٥٢) رمزا تخطيطيا لمقاوم من النوع الكربوني هندسة الراديو والتليفزيون .

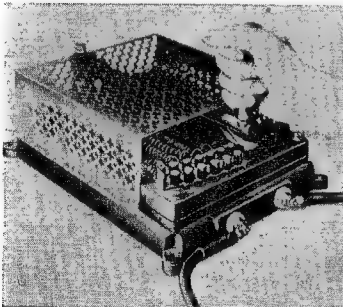
مقاومات متغيرة على خطوات :

يبين الشكل (٥٣) رمزا تخطيطيا لمقاوم متغير على خطوات ، ويبين الشكل (٥٤) رمزا تخطيطيا لمقاوم بدء دوران محرك كهربائي ، بينما التمثيل التخطيطي في الشكل (٥٥) لطريقة تشغيل مقاوم من هذا النوع ، تزداد أو تنخفض مقاومته المكافئة م على خطوات ، بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل .

مقاومات متغيرة لانهائية :

يبين الشكل (٥٦) الرمز التخطيطي لمقاوم متغير لانهائي يغطي مقاومة أومية .
والشكل (٥٧) لمقاوم منزلق .
والشكل (٥٨) لمقاوم دوار من السلك الملفوف .

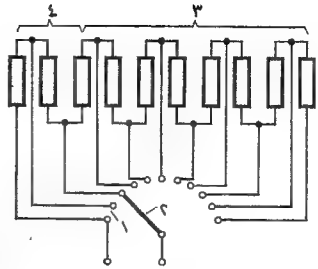
والشكل (٥٩) لمقاوم دوار من النوع الكربوني . ويطلق عادة على المقاوم الدوار مجزئ للجهد (بوتنشيومتر) .



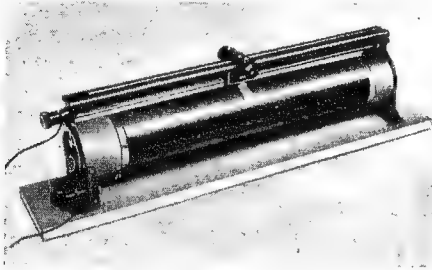
شكل ٥٤ : مقاوم بدء دوران محرك كهربائي :

شكل ٥٥ : تمثيل تخطيطي لمقاوم بدء دوران :

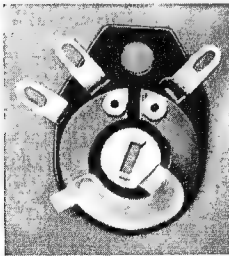
- ١ - ممر الملامسات .
- ٢ - ملامس منزلق .
- ٣ - هذا الجزء من المقاوم ليس له أى تأثير على الدائرة نتيجة لوضع التشغيل المبين .
- ٤ - الجزء الفعال للمقاوم .



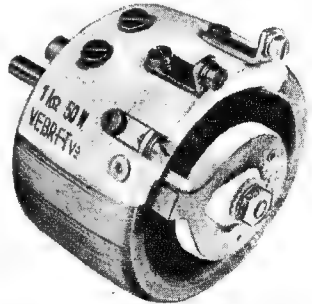
شكل ٥٦ : رمز تخطيطي لمقاوم متغير لانتهائى
يمطى مقاومة أومية :



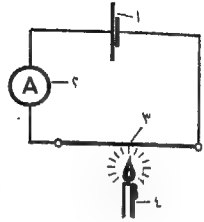
شكل ٥٧ :
مقاوم منزلق :



شكل ٥٩ : مقاوم دوار من النوع
الكربونى :



شكل ٥٨ : مقاوم دوار من السلك الملفوف :
(VEB RET Berlin, GDR)



شكل ٦٠ : ترتيب اختبار لتمثيل تأثير درجة الحرارة :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - سلك صلب .
- ٤ - مصدر لحرارة هب غاز .

(ج) تأثير درجة الحرارة على المقاومة :

كانت مناقشتنا السابقة فيما يتعلق بالمقاومات مبنية على أساس أن درجة الحرارة المحيطة ٢٠°C . ويمكن تحديد تأثير درجة الحرارة على المقاومات باستخدام ترتيب اختبار كما هو موضح بالشكل (٦٠) و بإجراء القياسات التالية :

- ١ - عندما يكون السلك المقاوم دافئا .
 - ٢ - عندما يكون السلك المقاوم عند درجة حرارة مرتفعة .
 - ٣ - عندما يكون السلك المقاوم في حالة الاحمرار .
- نلاحظ أن المقاومة تزداد بازدياد درجة الحرارة .

وبإجراء اختبارات عديدة مماثلة ، نستخلص من النتائج التي نحصل عليها أن المقاومة تتغير بتغيير درجة الحرارة . وعموما ، تزداد مقاومة المعادن النقية برفع درجة حرارتها ، على حين تنقص مقاومة بضع سبائك بارتفاع درجة الحرارة (ويطبق هذا أيضا على السوائل الموصلة كهربائيا) .

المعامل الحرارى :

في حالات كثيرة يكون من المهم معرفة القيمة الحقيقية للمقاومة عند درجة حرارة معينة . (تخيل ، مثلا ، أن مقاومات قتييل تسخين الصمامات الالكترونية تعتبر مقاومتها ، وبالتالي شدة تيارتها ، ثابتة فقط بعد ارتفاع معين في درجة الحرارة . ويعبر عن المعامل الحرارى بتأثير درجات الحرارة على المقاومة) .

المعامل الحرارى هو ثابت يعبر عن التغير الذى تتعرض له مقاومة معينة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة ، بالنسبة لدرجة حرارة مبدئية ٢٠°C .

ويرمز للمعامل الحرارى بالرمز α (ألفا) ، ووحدته $\frac{1}{^\circ\text{C}}$. ولأخذ درجة الحرارة

المبدئية في الاعتبار يكتب المعامل الحرارى بالطريقة التالية : $\alpha_{٢٠}$

ويبين الجدول التالي بضع معاملات للحرارة :

المادة	α بالدرجة المئوية	المادة	α بالدرجة المئوية
فضة	٠,٠٠٣٨	قصدير	٠,٠٠٤٢
نحاس	٠,٠٠٣٩٣	بلاتين	٠,٠٠٢٥
الومنيوم	٠,٠٠٣٧٧	رصاص	٠,٠٠٤٢
زنك	٠,٠٠٣٧	سبيكة الألومنيوم	٠,٠٠٣٦
نيكل	من ٠,٠٠٣٧ إلى ٠,٠٠٠٦	نحاس أصفر	٠,٠٠١٥
حديد	من ٠,٠٠٤٥ إلى ٠,٠٠٠٦	نيكولايت	٠,٠٠٢٣
		منجانيك	٠,٠٠٠٠١
		كونستانتان	٠,٠٠٠٠٣
		نيكل كروم	٠,٠٠٠١٠٠

وتبين الإشارة السالبة للمعامل الحراري للكونستانتان أن مقاومته تقل بارتفاع درجة حرارته .

مثال :

تشتمل معدات معمل تجفيف على مقاومات من سلك نيكولايت ، تسخن أسلاك المقاومة إلى 110°C . فما هي المقاومة الكهربائية لها عند هذه الدرجة ، إذا كانت مقاومتها عند درجة الحرارة المحيطة 63Ω (20°C) ؟

المعطيات :

$$\begin{aligned} 20^\circ \text{C} &= 63 \Omega \\ \alpha &= 0,0001 \text{ } ^\circ \text{C}^{-1} \\ \textcircled{B} &= 100^\circ \text{C} \end{aligned}$$

المطلوب : المقاومة عند درجة الحرارة النهائية (\textcircled{B}) .

الحل :

فيما يلي تعليق على المعادلة المستخدمة في حل هذه المسألة ، وتصلح هذه الصيغة فقط حتى مدى لدرجات الحرارة يصل إلى 100°C . ويعطى تطبيقها درجة مرضية من الدقة ، وقد اختصرت المعادلة هنا إلى صيغة أساسية ، ويمكن إثبات ذلك بعدة عوامل رياضية معروفة .

يحدد أولا ، الفرق في درجة الحرارة ، $\Theta - 20^\circ \text{م}$. ثم يضرب في العامل الحرارى لمادة المقاومة . ويضاف إلى ناتج الضرب واحد صحيح . ينتج المعامل الذى تضرب فيه المقاومة عند درجة الحرارة المحيطة ، لتنتج قيمة المقاومة $\Theta \text{م}$ عند درجة الحرارة النهائية ، وعلى هذا

$$\Theta \text{م} = 20,2 (1 + 0,001 \Theta - 20^\circ \text{م})$$

$$= 63 (1 + 0,001 (100 - 20^\circ \text{م}))$$

$$= 63 (1 + 0,001 \times 80^\circ \text{م})$$

$$= 63,008$$

$$= 63,004 \Omega$$

نلاحظ أن شدة التيار والجهد يتعرضان في هذه الحالة ، إلى تغيرات طفيفة ، ولكنها غير ملحوظة في حالة استخدام هذه المادة في المقاومات . ولكن عندما يستبدل النيكلولايت بالنحاس ،

$$\text{الذى معاملته الحرارى } 0,00393 \text{ يساوى } \frac{1}{0,00393}$$

$\Theta \text{م} = 83,8 \Omega$. وهذا يعنى زيادة في المقاومة بحوالى الثلث تقريبا بالنسبة للقيمة المبدئية . ولذلك فإن شدة التيار والجهد يتعرضان لتغيرات كبيرة . ويطلق على مواد المقاومة ذات المعامل الحرارى السالب مثل الكونستنتان موصلات درجات الحرارة العالية أو « ثرمستور » ، ويستخدم في صناعة فتيل التسخين للصمامات الالكترونية .

وتكون المقاومة صغيرة لفتيل التسخين في أجهزة الاستقبال التى يطلق عليها (مستقبلات كل المآخذ) ، والمعروفة بأجهزة الاستقبال للتيار المستمر والتيار المتردد ، وذلك عند لحظة تشغيلها . حيث يكون التيار المسار بها كبيرا ، مما يعرض الصمام لإجهادات تموجيه ، إلى أن ترتفع المقاومة بقدر كاف عندما تصل درجة حرارتها إلى درجة حرارة التشغيل . وبتوصيل مادة مقاومة معاملها الحرارى سالب من الكونستنتان إلى الدوائر التى يكون من خواصها أن مقاومتها تكون منخفضة عند بدء التشغيل (فتيل تسخين) ، ومقاومتها مرتفعة عند التشغيل المستقر . فينتج من ذلك ارتفاع في مقاومة الفتيل ، وانخفاض في المقاومة عند التشغيل المستقر . ويؤدى ذلك عمليا إلى ثبات التيار المسار بها . ويمكن استخدام تأثير درجة الحرارة على المقاومة في قياس درجات الحرارة ، بقياس المقاومة . ويستخدم ذلك على سبيل المثال ، في قياس الارتفاع في درجة حرارة السلفات التى يراد اختبارها، حيث يؤدى ارتفاع درجة حرارة لفيفاتها، لقيمة غير مسموح بها ، إلى تلف العزل ، الذى يؤدى بدوره إلى انهيار المكنة الكهربائية .

٥/٦ - المواد العازلة :

(أ) تصنيف المواد العازلة :

تم اكتشاف وإنتاج عديد من مواد العزل ، في مضمار تطوير الهندسة الكهربائية بأعداد كبيرة يصعب حصرها ، ويضاف إلى ذلك تسويق مواد عازلة من نفس المكون تحت أسماء تجارية مختلفة . ويعطى التصنيف التالى حصرا لما يحتويه هذا المجال المتسع من المواد العازلة :

مواد طبيعية غير عضوية .

مواد طبيعية عضوية .

مواد عزل من الخزف والزجاج .

ورق - نسيج وزيت .

لدائن .

وتم هذا التصنيف طبقا لطبيعة المادة المصنوع منها هذه العوازل ، واستخداماتها المختلفة .

(ب) قيم المقاومة لمواد العزل :

يختلف تحديد المقاومة لمواد الموصلات ومواد المقاومات عنه في مواد العزل ، حيث لا يعتمد تحديد المقاومة لمواد العزل على مساحة مقطع مستمر مقدارها ١ م^٢ وطول قدره ١ م . ولكن هذا التحديد يكون على أساس مكعب طول ضلعه متر واحد . وهذا هو تعريف الأوم .

مثال :

الوحدة	القيمة
$\frac{٢ \text{ م} \Omega}{٢}$	١,١
$\frac{٢ \text{ سم} \Omega}{٢}$	٠,٠١١
$\frac{٢ \text{ ديسم} \Omega}{٢}$	٠,٠٠٠١١
$\frac{٢ \text{ م} \Omega}{٢}$	٠,٠٠٠٠٠١١

ويمكن كتابة التعبير $\frac{٢ \text{ م} \Omega}{٢}$ بالطريقة التالية

$$\frac{\text{م} \times \text{م} \Omega}{٢}$$

وتصبح القيمة الأخيرة في المثال السابق بعد الاختصار $٠,٠٠٠٠٠٠١١ \text{ م} \Omega$.

ويوضح الجدول التالى بعض مواد العزل ومقادير مقاومات عزلها . وللتسهيل سوف تكتب الأرقام مرفوعة للأس .

مثال :

يبين الجدول التالي مقاومة العزل للكوارتز ومقدارها $4 \times 1910 \Omega$ م ويمكن

كتابتها أيضا .

$4 \times 10 \dots \dots \dots \Omega$ م أو $40 \dots \dots \dots \Omega$ م

مقاومة العزل Ω م	مادة العزل
4×1910	الكوارتز
$1510 - 1610$	الميككا
2×1510	الاسبستوس
1610	المطاط الطبيعي
1710	المطاط الصناعي
$1410 - 1510$	الصيني الصلب والمصقول
$1410 - 1510$	الاستيثيريت (حجر صناعي)
$1110 - 1410$	الزجاج
$1110 - 1210$	الورق المشرب بالبرافين
$1110 - 1410$	الورق المضغوط
1710	زيت المحولات
$1110 - 1510$	تجهيزات خزفية خاصة
$1210 - 1510$	السدائن

(ج) شرح موجز لمواد عازلة :

الكوارتز : يستخدم كمادة عازلة في اجهزة القياس ، وخاصة في مجالات الترددات العالية .
ويستخدم الكوارتز أيضا في الأغراض التي يعرض فيها لدرجات حرارة عالية ، حيث أنه صامد للحرارة وغير حساس للتغيرات في درجة الحرارة .

الميككا : ويمكن شطرها بسهولة إلى ألواح صفيحة . وتصلح كمادة عازلة في المواسعات .
وتستخدم الواح الميككا المفراة بعضها ببعض بمحلول الشيلاك (الميكاتيت) في المبدلات ومقاومات التسخين ، اللازمة للمكثفات والمسخنات الكهربائية .

الاسبستوس : يستخدم أساسا في المسخنات الكهربائية . وهو مادة ليفية تدخل في إنتاج النسيج البازل . وتشتمل هذه الأنسجة أيضا ، على مواد ليفية أخرى تقلل من استقارها الحراري كنتجج نهائي .

القلفلوية : وتنتج من الراتنج الطبيعي ، وتستخدم كمادة عزل إضافية للزيوت المعدنية ، أو تستخدم لتشريب الورق العازل المستخدم في إنتاج الكبلات .

الشيلاك : وهو مادة راتنجية ، بدأ إنتاجه في الهند ويستخدم بكثرة كادة عازلة للفيقات
المكثات الكهربائية .

المطاط : يصنع من الكاوتشوك الطبيعي . ومن الأنفع استخدامه فيما بين درجتي الحرارة
٣٠ م° ، + ٦٠ م° فقط . وهو حساس لمفعول الزيوت والبززين . ويعتبر المطاط من المواد
العازلة ذات الخصائص الكهربائية الجيدة . ويمكن تشكيله بسهولة .

الصيني : وينتج بأنواع متعددة كثيرة ، ويكون للصيني الصلد الذي يتكون من ٥٠ في المائة
كاولين و ٢٥ في المائة كوارتز و ٢٥ في المائة فلبسار ، أهمية عملية في الهندسة الكهربائية .
وتصنع منه عادة العوازل المستخدمة في الخطوط الهوائية لنقل القدرة الكهربائية للجهد العالي ، كما
يصنع منه العوازل النفاذي للمحولات .

الاستيتيت : (ويعرف أيضا بالحجر الصابوني) ويشبه الصيني . ومتانته أعلى منه وخواصه
الكهربائية أفضل منه . ويلزم لإنتاج ملفات الترددات العالية .

الزجاج : يندر استخدامه في الهندسة الكهربائية ، نظرا لمقاومته المنخفضة لتغيرات درجة
الحرارة . وقد تستخدم الخيوط الزجاجية في بعض الأحيان بدلا من الاسبتوس ، نظرا لاستقرارها
الحراري العالي . وتستخدم العوازل الزجاجية أحيانا في البلاد التي تكون درجة حرارتها ثابتة
نسبيا .

الورق : يستخدم في الهندسة الكهربائية إما غير مشرب في إنتاج كبلات الجهد المنخفض ،
أو مشرب بالزيت أو البرافين لأغراض الجهد العالي .

الورق المضغوط : وهو ورق يعرض لضغط عالي أثناء تصنيعه . ويستخدم لعمل إطارات
الملفات في المحولات الصغيرة ، ولملء الفراغات في العضو الدوار أو العضو الساكن للمكثات
الكهربائية .

الورق المقوى : أو ورق مكون من رقائق ، يصنع من طبقات من الورق تشرب براتنج
وتعرض لضغط يصل إلى ٥٠٠ جوى (كجم/سم^٢) عند درجة حرارة قدرها ١٢٠ م° . ويوجد
الورق المقوى بسمك يتراوح بين ٠.١ مم و ١.٥ مم .

نسجج مكون من رقائق : يصنع من طبقات من النسجج مشربة براتنج بطريقة تشابه تلك
المستخدمة لإنتاج الورق المقوى . وتصنع من الحرير الصناعي أو الكتان أو القطن أو خيوط
الزجاج . ويمكن الحصول عليه تجاريا بسمك فيما بين ٠.٥ مم و ٣.٠ مم . وخواصه الميكانيكية
أحسن من خواص الورق المقوى .

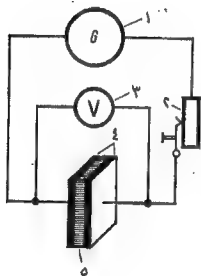
الأنسجة العازلة : وتكون غالبا من شرائط القطن أو الحرير الصناعي بعرض بين ٥ مم
و ٣٠ مم ، وتستخدم أحيانا مشربة بالزيت في رباط الكبلات والملفات المخصصة .

الزيوت العازلة : وتستخدم في الهندسة الكهربائية كمواد عازلة . وكوسيلة لتبديد الحرارة ، وتستخدم الزيوت المعدنية خاصة في هذه الأغراض .

اللدائن : وقد حلت محل كثير من المواد العازلة المعروفة ، وأصبحت تستخدم على نطاق واسع . وتنقسم اللدائن إلى مجموعتين مختلفتين تبعا لتصرفهما بالنسبة للحرارة وهما : لدائن حرارية وأخرى مصلدة حراريا thermoplastic & thermosetting plastic . ويمكن تليين اللدائن الحرارية مرة ثانية بالتسخين ، وتستخدم كشرائط أو أغلفة عازلة للموصلات . ومن خواص اللدائن المصلدة حراريا دوام صلابتها وجسومتها بالتسخين ، وتستخدم في ألواح قواعد المكونات ، وأغلفة المعدات ، وصناديق التوزيع والتحكم وبخلافه .

(د) متانة الوسط الكهربائي العازل :

يعتمد استخدام المادة العازلة بدرجة كبيرة على متانة وسطها الكهربائي العازل ، ويعرف بالعلاقة بين الجهد المسلط وسماك المادة العازلة . والشكل (٦١) مثال لرسم الدائرة لتحديد متانة الوسط الكهربائي العازل لمواد عازلة .



شكل ٦١ : دائرة اختبار لتمثيل متانة الوسط الكهربائي العازل :

- ١ - مولد جهد عال .
- ٢ - مقاوم متغير .
- ٣ - فلظتر .
- ٤ - لوح معدني .
- ٥ - عينة اختبار .

تربط قطعة من العازل المراد اختباره سمكها ١ م بين لوحين معدنيين . ويضبط الجهد المسلط عليهما من مولد جهد عال بواسطة مقاوم متغير . ويقاس هذا الجهد بفلظتر . وعند قيمة معينة للجهد ، يحدث توصيل كهربائي بين اللوحين المعدنيين على هيئة شرارة ، وتتحرق المادة العازلة . فإذا وضع مثلاً ، لوح من بلاستيك كلوريد عديد الفينيل (PVC) ، سمكه ١ م بين هذين اللوحين فيلزم تمليط جهد قيمته حوالي ٩٥٠ ٩٥٠ (٩٥ كيلو فلت) عليهما حتى يتمكن التيار الكهربائي من إحداث شرارة خلال مادة البلاستيك .

ويبين الجدول التالي قائمة بمتانة الوسط الكهربائي العازل لبضع مواد عازلة :

المواد العازلة	متانة الوسط الكهربائي العازل كيلوفلط / مم
كوارتز	٣٥
ميكا	٣٥-٢٥
ورق مضغوط	٢٢- ٦
ریت محمولات	١٢- ٨

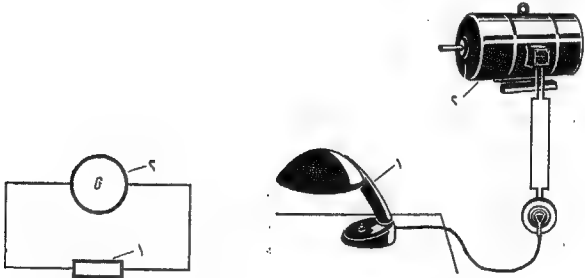
الفصل السابع

دوائر بسيطة وشبكات كهربائية

فيما يختص بإعطاء تعاريف أكثر دقة لبعض مصطلحات متعلقة بالدوائر الكهربائية ، ذكرنا فيما سبق أن الأجهزة الكهربائية تسمى محولات طاقة ، حيث يعتمد أداؤها على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة . ونعطي هنا نمودجا لدوائر تشتمل على عدة محولات ، فمثلا تنوهج عدة مصابيح كهربائية ، بينما تكون أجهزة الراديو والتليفزيون في حالة تشغيل . ويشغل مسخن ماء كهربائي ، بينما يقوم محرك ثلاجة كهربائية بإدارة كباس ، كل ذلك يحدث في نفس الطابق . ويمكن اعتبار كل هذه المحولات للطاقة مقاومات في دائرة معينة مقاومتها (م) .

١/٧ - الطرق المختلفة لتوصيل المقاومات :

يبين التمثيل التخطيطي بالشكل (٦٢) مسار التيار الكهربائي من مولد إلى مصباح كهربائي (أباجورة) ، ثم رجوعا إلى المولد . وإذا اعتبرنا المصباح الكهربائي مقاوما ، فإننا نحصل على رسم الدائرة الموضح بالشكل (٦٣) .



شكل ٦٣ : رسم الدائرة للشكل (٦٢) .

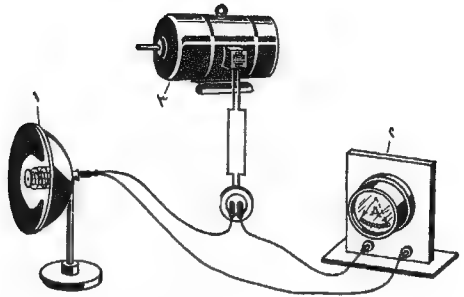
١ - مصباح متصلة مثل مقاوم .

٢ - مولد .

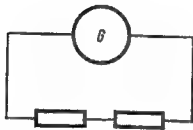
شكل ٦٢ : تمثيل مبسط لترقية بها مولد ومصباح :

١ - مصباح متصلة .

٢ - مولد .



شكل ٦٤ : تمثيل مبسط لترتبية دائرة بها مولد وأميتور ومسخن بشكل قطع مكافئ .
١ - مسخن بشكل قطع مكافئ . ٢ - أميتور . ٣ - مولد .



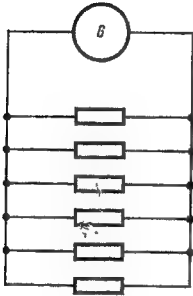
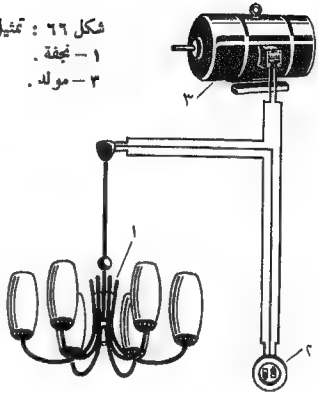
شكل ٦٥ : رسم الدائرة للشكل (٦٤) .

يبين الشكل (٦٤) تمثيلاً تخطيطياً لترتبية دائرة بها مسخن بشكل قطع مكافئ وأميتور ، يمر التيار الكهربائي من المولد خلال الأميتور ثم المسخن ويرجع ثانياً إلى المولد . وإذا اعتبرنا المسخن والأميتور مقاومين ، فإننا نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٥) . ويبين الشكل (٦٦) ترتبية أخرى ، عبارة عن تمثيل مبسط لنجفة بها ستة مصابيح في وضع التشغيل . وبتمثيل كل من هذه المصابيح بمقاوم مع عدم أخذ المفتاح في الاعتبار ، نحصل على رسم الدائرة المبين بالشكل (٦٧) .

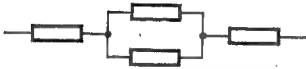
توضح الأشكال من (٦٤) إلى (٦٧) ترتيبين لدائرتين أساسيتين بمقاومات موصلة كما هو مبين بالشكل (٦٨) . وبالشكل (٧٨ - ١) توصيل على التوالي للمقاومات . وتعطى المقاومات في ترتبية الدائرة هذه مسارا أحاديا دون أى تفريع ، ويبين الشكل (٦٨ - ٢) مثالا لمقاومات موصلة على التوازي ، وتتفرع الدائرة عند نقطة وتصل عند نقطة أخرى .

ويوضح الشكل (٦٩) خليطاً لترتبية توالي وترتبية توازي ، ويطلق عليه أيضاً دائرة مختلطة . إذا كانت جميع المقاومات موصلة على التوالي في دائرة معينة ، فيطلق على هذه الدائرة « دائرة بسيطة » ، بينما يطلق على الدائرة التي توصل بها المقاومات على التوازي ، أو على التوازي والتوالي معا « شبكية » . وفيما يلي شرح لحالات الجهد والتيار والمقاومة في الدوائر البسيطة والشبكية :

شكل ٦٦ : تمثيل مبسط لترتيبة لها مولد ونجفة :
 ١ - نجفة .
 ٢ - مفتاح كهربائي .
 ٣ - مولد .



شكل ٦٧ : رسم الدائرة للشكل (٦٦) .



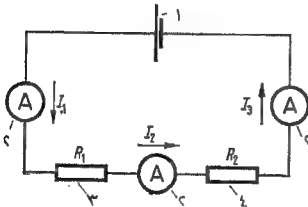
شكل ٦٩ : شكية بها غليط ترتيبية
 توصيل توالى وتوازي معا :



شكل ٦٨ : مقاومات موصلة على التوالى
 ومقاومات موصلة على التوازي :
 ١ - دائرة توالى .
 ٢ - دائرة توازي .

٢/٧ - الدوائر البسيطة :

يبين الشكل (٧٠) رسماً لدائرة بسيطة ، بها مقاومتان موصلتان على التوالى ، 12Ω ، 30Ω ،
 10Ω . ووضع بالدائرة ثلاثة أميترات
 عند ثلاثة مواضع . وقد استعملت هذه الاميترات
 لتبين شدة التيار ت_١ ، ت_٢ ، ت_٣ عند هذه
 المواضع الثلاث في الدائرة.



شكل ٧٠ : دائرة بسيطة تشمل مقاومتين :

١ - مصدر للجهد .
 ٢ - أميتر .
 ٣ - مقاومة 12Ω .
 ٤ - مقاومة 30Ω .

بتشغيل هذه الترتيبة نلاحظ الظاهرة التالية :

« تبين جميع الاميترات نفس القيمة » (وبفرض أن شدة التيار الميينة بكل أميتر في هذه الحالة هي ٠,٣ أميتر) . فينتج أن $I_1 = I_2 = I_3$. ونستنتج من الاختبار السابق ، أو أى اختبار آخر به ثلاثة أو أربعة أو أى عدد من المقاومات على التوالي ما يلي :

تكون قيمة شدة التيار هي نفسها عند أى نقطة في الدائرة البسيطة .

ويوضح « قانون أوم » العلاقة بين الجهد وشدة التيار والمقاومة (ج ، ت ، م) . ولإيجاد العلاقات بين المقاومان R_1 ، R_2 الموصلان على التوالي من جهة ، وبين الجهد وشدة التيار من جهة أخرى . نفرض أن قيمة الجهد المقاس بفلطومتر عبر مصدر للجهد $E = 12$ فلت ، وحيث أن الأميترات الثلاثة بينت قراءة لشدة التيار قيمتها ٠,٣ أميتر . وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة (م) من الصيغة التالية :

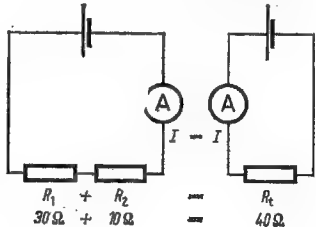
$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{0,3} = 40 \Omega$$

وهذا يعنى أن محصلة المقاومين نتجت من حاصل جمعهما ، حيث أنه ذكر أن $R_1 = 30 \Omega$ ، $R_2 = 10 \Omega$. وإذا أطلقنا على القيمة 40Ω « المقاومة الكلية » أو « المقاومة المكافئة » لهذه الدائرة ، يمكننا كتابة $R = R_1 + R_2$

ونستنتج من هذا الاختبار وأى اختبار آخر بمقاومات على التوالي ما يلي :

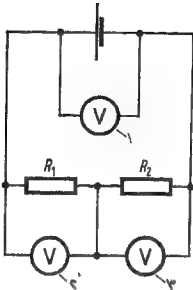
تساوى المقاومة الكلية (أو التي تعرف أيضا بالمقاومة المكافئة) لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، حاصل جمع المقاومات الفردية لهذه المقاومات . وكذلك أيضا :

تكون قيمة المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوالي دائما أعلى من أعلى مقاومة على حدة في هذه المقاومات . ويستخدم الشكل (٧١) لبيان حالات ترتيبات دوائر التوالي . ويل ذلك الخطوة الثانية لإيجاد اشتراطات الجهد في الدائرة البسيطة . ويبين الشكل (٧٢) الدائرة السابقة وبها ثلاثة فلتطمرات موصلة معا .



شكل ٧١ : يوضح العلاقة بين كل مقاومة على حدة والمقاومة المكافئة لترتيبة توالى :

شكل ٧٧ : دائرة اختبار تستعمل لقياس فروق الجهد في دائرة بسيطة :



- ١ - فلطمتر (١) .
٢ - فلطمتر (٢) .
٣ - فلطمتر (٣) .

عند تغذية ترتيبية الدائرة ، تبين الفلطمترات الثلاثة القراءات المختلفة التالية :

- الفلطمتر (١) ١٢ فلط
الفلطمتر (٢) ٩ فلط
الفلطمتر (٣) ٣ فلط

وإذا رمزنا للجهد عبر المصدر بالرمز ج ، وكل من الجهدين الجزئيين على المقاومين ١٢ ،

٢٢ بالرمزين ١ج ، ٢ج ، يمكننا كتابة :

$$١ج + ٢ج = ٢ج$$

نظراً لأن ١٢ فلط = ٩ فلط + ٣ فلط .

وبإجراء أى عدد من التجارب لأى عدد من المقاومات الموصلة على التوالي ، نحصل على النتيجة التالية :

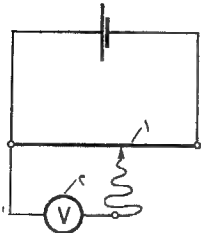
الجهد الإجمالي في أى دائرة بسيطة يساوى مجموع الجهود الجزئية في هذه الدائرة .

(١) هبوط الجهد وفقد الجهد :

في الشكل (٧٣-١) استبدل المقاومان ٣٠ Ω ، ١٠ Ω بقضيب من سلك مقاومته ٤٠ Ω ، ويوصل فلطمتر بالدائرة ، بطريقة يمكن بها عمل تلامس عند أى نقطة على سلك المقاومة بأحد طرفي وصلتي الفلطمتر ، بينما يثبت الطرف الآخر عند نقطة اتصال بداية سلك المقاومة بالدائرة .

عند توصيل طرف وصلة الفلطمتر المتحركة بمقتصف سلك المقاومة ، يبين الفلطمتر قراءة قيمتها ج = ٦ فلط . ويمكن تحديد هذه القيمة أيضاً كما يلي :

$$\frac{٤٠ \times ٠.٣ \text{ أمبير}}{٢} = ج ، \frac{٤٠ \times ٠.٣}{٢} = ج ، \frac{٤٠ \times ٠.٣}{٢} = ج$$



شكل ٧٣ : هذا الشكل يساعد في توضيح هبوط الجهد :

- ١ - سلك مقاومته م = ٤٠ Ω .
٢ - فلطمتر بوصلة متحركة .

وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى اليمين ، تزداد قراءة الفلطمتر تدريجيا حتى تصل إلى قيمة فلط التشغيل لمصدر الجهد ، أى ج = ١٢ فلط . وبتحريك وصلة الفلطمتر على سلك المقاومة إلى الشمال ، تنقص قراءة الفلطمتر تدريجيا إلى أن يبين الفلطمتر ج = صفر . وتوضح هذه التجربة أن جهد الدائرة يهبط تدريجيا على أى مقاوم فيها ، ويطلق على ذلك « هبوط الجهد » . ويلعب هبوط الجهد دورا هاما في الهندسة الكهربائية . فتتكون أى ترتيبية كهربائية من وصلات ومحولات طاقة (بإهمال مصدر الجهد) . وعمليا تكون هذه الوصلات ومحولات الطاقة مقاومات موصلة على التوالي ، يهبط عبرها الجهد أيضا . ويوضح الشكل (٧٤) هذه الحقيقة . يتحول هبوط الجهد على الوصلتين (١٢ ، ٣٣) إلى حرارة ، أى يفقد بالنسبة لكل من المستهلك ومولد الطاقة الكهربائية . وعلى هذا يطلق على هبوط الجهد في وصلات نظام كهربائى « فقد الجهد » . وتحدد محطات القوى الكهربائية « هبوط الجهد » وبالتالي « فقد الجهد » لأى نظام كهربائى معين . وتحدد قيمة « فقد الجهد » تماما في نطاق الحدود المطلوبة بتحديد مساحة المقطع المستعرض المناسب للخطوط .

مثال :

محول طاقة ، تيار دخله ت = ١٢ أميتر ، موصل بأخذ رئيسى تيار مستمر ، جهد تشغيله ج = ٢٢٠ فلط ، عند نقطة تبعد ١٢٥ مترا عن وصلة المأخذ ، ولا يمتد هبوط الجهد المسموح به ٢ في المائة من جهد التشغيل . ويستخدم النحاس لمادة توصيل . فما مساحة المقطع المستعرض لخط المطلوب تركيبه ؟

المعطيات :

ج = ٢٢٠ فلط .

فقد الجهد ٢ في المائة

ت = ١٢ أميتر

ل = ٢ × ١٢٥ متر

٥٦ = $\frac{\rho}{\gamma}$ نحاس

المطلوب : مساحة المقطع المستعرض (ج) للسلك .

الحل :

شكل ٧٤ : أسلاك ومحولات تكون مقاومات في الدائرة :

١ - مصدر للجهد (مولد) .

٢ - محرك طاقة (محرك كهربائى) .

$$١ - \text{ فقد الجهد} = \frac{٢ \times ٢٢٠}{١٠٠} = ٤,٤ \text{ فلط}$$

$$٢ - \frac{\text{فقد الجهد}}{\text{ت}} =$$

$$0,367 = \frac{0,44}{12} = \rho$$

$$\frac{L}{\rho \times X} = \text{٣ - المساحة (ج)}$$

$$\frac{120 \times 2}{0,367 \times 06} =$$

$$\rho = 12 \text{ م}$$

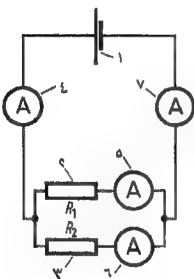
يكنى لهذا الخط مساحة مقطع مقدارها ١٢ م^٢

٣/٧ - الشبكيات :

يبين الشكل (٧٥) مثالا لرسم الدائرة لشبكية مكونة من مقاومين $\rho = 12$ ، $\Omega = 30$ ، $\rho = 22$ موصلين على التوازي . ويدخل في الدائرة أربع أميترات .

شكل ٧٥ : شبكة بمقاومين :

- | | |
|------------------|-----------------|
| ١ - مصدر الجهد . | ٥ - أميتر (٢) . |
| ٢ - مقاوم 12 | ٦ - أميتر (٣) . |
| ٣ - مقاوم 22 | ٧ - أميتر (٤) . |
| ٤ - أميتر (١) | |



نلاحظ عند تشغيل هذه الترتيبة ما يلي : تبين الأميترات قيمًا مختلفة طبقا لما سبق شرحه في الدائرة البسيطة . فيبين الأميتر (١) ، والأميتر (٤) ١,٦ أمبير ، بينما يبين الأميتر (٢) ٠,٤ أمبير والأميتر (٣) ١,٢ أمبير .

ويجمع قيمتي شدة التيار للفرعين ١ ، ٢ ، اللتان تمران خلال المقاومان 12 ، 22 نحصل على شدة التيار الإجمالية ت_ج المبينة بالأميتر (١) والأميتر (٤) قبل وبعد التفريع . ونوجد قيمة شدة التيار ت_١ ، ت_٢ في كل من الفرعين في الدائرة عند جهد قدره 12 فلت كما يلي :

$$ت_١ = \frac{ع}{12} ، ت_١ = \frac{12}{\Omega 30} ، ت_١ = 0,4 \text{ أمبير}$$

$$ت_٢ = \frac{ع}{22} ، ت_٢ = \frac{12}{10} ، ت_٢ = 1,2 \text{ أمبير .}$$

وبذلك يمكن كتابة :

$$ت = ت_١ + ت_٢$$

وبإجراء عدة قياسات على عديد من مقاومات التوازي نحصل على نفس النتيجة التالية :

التيار الإجمالي في الشبكية التي يمر بها عدة مقاومات موصلة على التوازي يساوي مجموع التيارات المارة في فروع الدائرة .

ويمكن تحديد المقاومة المكافئة لمقاومين أو أكثر موصولين على التوازي . فنحدد أولا المقاومة المكافئة R_{eq} للمثال السابق طبقا للشكل (٧٥) . ويمكن تحديد R_{eq} بسهولة جدا في حالة وجود أجهزة قياس :

$$R_{eq} = \frac{V}{I} = \frac{12}{0.4} = 30 \Omega$$

ويمكن تعيين قيمة المقاومة المكافئة إذا عرفنا قيمة كل مقاومة على حدة . ونبدأ بالصيغة التالية :

$$I = I_1 + I_2$$

$$\text{وحيث أن } I = \frac{V}{R_{eq}} \text{ ينتج أن :}$$

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

وبقسمة الصيغة الأخيرة على V ينتج :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وهذا يعنى :

مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التوازي يساوى مجموع مقلوب مقاومة كل مقاوم على حدة .

وتطبيقا على المثال السابق ينتج من هذا ما يلى :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{10} = \frac{1}{7.5}$$

$$\frac{4}{30} = \frac{2}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

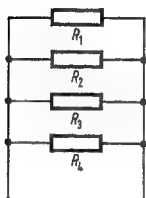
ومن مقلوب هذه الصيغة (برفع الصيغة للأُس - ١) ينتج :

$$\frac{\Omega \ ٣٠}{٤} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ٧,٥ = \text{أك}$$

وهذه هي نفس النتيجة التي تم الحصول عليها من الحسابات المبينة على الجهد وشدة التيار .

مثال :



المطلوب إيجاد المقاومة المكافئة R_{eq} طبقا للشكل (٧٦)

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{40} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{2}{200} + \frac{5}{200} + \frac{4}{200} + \frac{8}{200} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{19}{200} = \frac{1}{\text{أك}}$$

$$\frac{200}{19} = \text{أك}$$

$$\Omega \ ١٠,٥٣ = \text{أك}$$

شكل ٧٦ : أربع مقاومات
موصلة على التوازي :

$$\Omega \ ٢٥ = ١\text{م}$$

$$\Omega \ ٥٠ = ٢\text{م}$$

$$\Omega \ ٤٠ = ٣\text{م}$$

$$\Omega \ ١٠٠ = ٤\text{م}$$

وإذا أخذنا في الاعتبار حالات الجهد في الشبكيات ذات المقاومات الموصلة على التوازي ، نجد أن نفس الجهد يكون مسلطا على كل فرع به مقاوم .

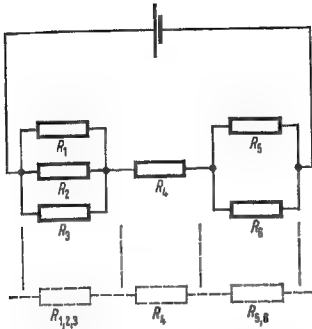
يسلط نفس الجهد على كل فرع به مقاوم في أي شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي .

يستخدم الشكل (٧٧) لإيضاح حالات المقاومة في شبكية بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي .

فإذا أردنا إيجاد قيمة المقاومة المكافئة R_{eq} لهذه الشبكية ، نفرض أن الدائرة تتكون من ثلاث مقاومات متصلة على التوالي ، يمثل إثنان منها المقاومة المكافئة لتوصيلتي توازي . ويوضح هذا الغرض بالمقاومات المرسومة بالخطوط المتقطعة بالشكل (٧٧) . وعلى هذا يمكن كتابة :

$$\text{أك} = ١\text{م} + ٢\text{م} + ٣\text{م} + ٤\text{م} + ٥\text{م}$$

ثم توجد المقاومة المكافئة بالطريقة التالية :



$$\frac{1}{20} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{1}{3.412}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{5}{20} + \frac{4}{20} =$$

$$\frac{10}{20} =$$

$$\Omega 2 = \frac{20}{10} = 3.412 \dots$$

$$\frac{2}{8} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{6.4}$$

$$\Omega 4 = \frac{8}{2} = 6.4$$

شكل ٧٧ : شبكة بها مقاومات موصلة على التوازي والتوالي :

$$\Omega 50 = 4$$

$$\Omega 5 = 12$$

$$\Omega 8 = 54$$

$$\Omega 4 = 22$$

$$\Omega 8 = 62$$

$$\Omega 20 = 32$$

$$4 + 50 + 2 = 56$$

$$\Omega 56 = 56$$

المقاومة المكافئة لترتبية هذه الدائرة هي $\Omega 56$ وبإلقاء نظرة فاحصة على الأمثلة السابقة الخاصة بمقاومات التوازي ، نحصل على النتيجة التالية :

تكون قيمة المقاومة المكافئة لأي ترتيبية مقاومات موصلة على التوازي ، أقل دائماً من مقاومة أصغر مقاوم على حدة بها .

(١) إيجاد قيمة Ω للمقاومات الموصلة على التوازي في حالات خاصة :

في ختام مناقشة الدوائر البسيطة والشبكات الكهربائية تعطى طريقتان تفيدان في إيجاد قيمة المقاومات المكافئة لعدة مقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

مقاومان على التوازي :

$$\frac{1}{22} + \frac{1}{12} = \frac{1}{6.4}$$

بعد إيجاد المعامل المشترك في المقام ، يعاد ترتيب الصيغة

بهذه الكيفية :

$$\frac{22}{22 \times 12} + \frac{12}{22 \times 12} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{22 + 12}{22 \times 12} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{22 - 12}{22 + 12} = 12$$

وللتأكد من ذلك نموض عن المقاومين ١٢ ، ٢٢ بقيمتها ١٢ = ٢٣٠ Ω ، ٢٢ = ١٠ Ω ،
فنحصل على ما يلي :

$$\Omega_{٧,٥} = \frac{300}{40} = \frac{10 \times 30}{10 + 20} = 12$$

أى عدد من المقاومات لها نفس المقاومة وموصلة على التوازي :

تشمل الشبكية المبينة في الشكل (٧٧) ترقية لمقاومين لها نفس المقاومة وموصلين
على التوازي ، وهما م ٥ ، ٦ ، وقيمة كل منهما ٨ Ω . وقد أوجدنا قيمة المقاومة المكافئة
لهذين المقاومين بنفس الطريقة الرياضية المستخدمة في إيجاد المقاومة المكافئة م ١ ، ٢ ، ٣
وعلى أى الأحوال ، فيمكن استخدام الطريقة السابقة لإيجاد مقاومتين على التوازي :

$$\frac{8 \times 8}{8 + 8} = 12$$

$$\Omega_{٤} = \frac{64}{16} = 12$$

ونعطي هنا طريقة أبسط كما يلي :

$$\frac{\text{قيمة المقاوم على حدة (أوم)}}{\text{(عدد المقاومات الموصلة على التوازي) العدد}} = 12$$

$$\Omega_{٤} = \frac{8}{2} = 12$$

وإذا وصل ، على سبيل المثال ، ٧ مقاومات على التوازي وقيمة كل منها ٣,٥ Ω

$$\Omega_{٠,٥} = \frac{3,5}{7} = 12$$

(ب) مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي :

دائرة توازي

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

دائرة توالي

$$I = I_1 = I_2 = \dots$$

$$V = V_1 + V_2 + \dots$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

الفصل الثامن

الشغل والقدرة والكفاءة الكهربائية

١/٨ ملاحظات عامة على الشغل والقدرة :

يعرف الشغل بمعناه الشامل ، بأنه استنفاد للطاقة في غرض من الأغراض . فالشخص الذى يحمل جوالاً من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل ، يبذل شغلاً . ولنقل هذا الجوال تلزم قوة معينة - وتقطع مسافة معينة . وفيزيائياً ، فقد بذل شغل ميكانيكى (ش) يساوى حاصل ضرب القدرة (ق) في المسافة (ف) ، إذا كانا في نفس الاتجاه ، وعليه فإن :

$$\text{ش} = \text{ق} \times \text{ف}$$

ويمكن تفهم المقصود بالقدرة إذا أخذنا في الاعتبار الزمن الذى يبذل خلاله الشغل . فمثلاً يبذل شخص يحمل ٢٠ جوالاً من الحبوب من مخزن إلى عربة نقل خلال ساعة واحدة شغلاً أكثر من شخص يحمل ١٥ جوالاً فقط من الحبوب لنفس المسافة وفى نفس الزمن . وفيزيائياً ، فقد نتجت عن ذلك قدرة ميكانيكية (قد) وتساوى حاصل ضرب القوة (ق) في المسافة (ف) مقسوماً على الزمن (ز) أو الشغل مقسوماً على الزمن ، وعليه فإن :

$$\text{قد} = \frac{\text{ق} \times \text{ف}}{\text{ز}} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}}$$

وسوف نتناول فيما يلى الشغل الكهربائى والقدرة الكهربائية .

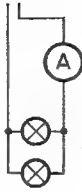
٢/٨ - الشغل الكهربائى :

يساعد الشكلان (٧٨) ، (٧٩) في شرح العلاقات بين الجهد وشدة التيار والزمن . ومعرفة هذه الكميات لازمة لتحديد الشغل الكهربائى .

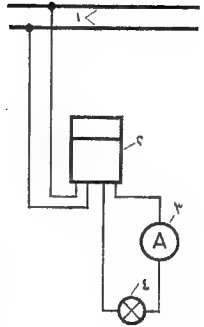
يبين الشكل (٧٨) رسم الدائرة لترتيبة مكونة من عداد كهربائى (عداد واط ساعة) وأميتر ، ومحول طاقة (في هذه الحالة مصباح متوهج) .

عند تشغيل هذه الترتيبة ، فسوف يبين العداد (لا نحتاج حالياً إلى شرح طريقة عمله) الشغل الكهربائى المبذول ، وذلك بواسطة نبيلة عد ميكانيكية . وتبقى قراءة الأميتر ثابتة خلال هذا الزمن . وبمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعة بقرائه بعد تشغيل نصف ساعة نجد أن القراءة أصبحت الضعف .

ونحصل على نفس النتيجة بمقارنة قراءة العداد بعد تشغيل ساعتين بقرائه بعد ساعة تشغيل .



شكل ٧٩ : نفس ترتيبية الشكل (٧٨) مع إضافة مصباح متوهج آخر وله نفس معدل المصباح الأول ويوصل معه على التوازي .



شكل ٧٨ : ترتيبية اختبار لتحديد الشغل الكهربائي :
١ - مأخذ رئيسي بجهد ثابت .
٣ - أميتر .
٢ - عداد كهرباء .
٤ - مصباح .

وحيث أن الجهد وشدة التيار ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي تناسبا طرديا مع زمن التشغيل ، وذلك في حالة ثبوت الجهد وشدة التيار .

ش α ز (ج ، ت ثابتان) .
يوضح الجدول (٧٩) نفس الترتيبية المبينة في الشكل (٧٨) ، ولكن يوصل بها على التوازي مصباحان متوهجان بدلا من مصباح واحد ويكون لهما نفس مقنته .
وبتشغيل هذه الترتيبية ، نجد أن قراءة العداد بعد نفس زمن التشغيل للاختبار السابق ، تصبح ضعف القراءة التي حصلنا عليها في حالة مصباح واحد . وحيث أن الجهد وزمن التشغيل ثابتان ، فإنه يمكننا الحصول على النتيجة التالية :

يتناسب الشغل الكهربائي مع شدة التيار تناسبا طرديا ، في حالة ثبوت الجهد والزمن .
ش α ت (ج ، ز ثابتان) .

وبتطبيق العلاقة بين الشغل الكهربائي والجهد نحصل على النتيجة التالية :
يتناسب الشغل الكهربائي مع الجهد تناسبا طرديا في حالة ثبوت قيمة شدة التيار وزمن التشغيل .

ش α ج (ت ، ز ثابتان) .
وبإدماج النتائج السابقة ، نحصل على الخلاصة التالية :
الشغل الكهربائي (في دائرة التيار المستمر) يساوي حاصل ضرب الجهد وشدة التيار والزمن .

$$\text{ش} = \text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز} .$$

ويمكن تفسير قصر هذه القاعدة على دوائر التيار المستمر بعد دراسة مفهوم التيار المتردد .

٣/٨ - القدرة الكهربائية :

هناك علاقة بين الشغل والزمن ، كما سبق شرحه عند إيجاد قيمة القدرة الميكانيكية . وينطبق ذلك أيضا على القدرة الكهربائية ، وعليه فإن :

$$\frac{\text{الشغل الكهربائي}}{\text{الزمن}} = \text{القدرة الكهربائية}$$

$$\text{قد} = \frac{\text{ج} \times \text{ت} \times \text{ز}}{\text{ز}}$$

$$\text{وحيث أن خارج قسمة} = \frac{\text{ز}}{\text{ز}} = ١ ، \text{ فينتج أن :}$$

$$\text{القدرة الكهربائية} = \text{الجهود} \times \text{شدة التيار}$$

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

القدرة الكهربائية ، في دائرة التيار المستمر ، تساوى حاصل ضرب الجهود في شدة التيار .
 ووحدة القدرة الكهربائية هي فلت - أمبير . ولقد أطلق عليها المصطلح واط تكريما للعالم
 الانجليزي جيمس واط (١٧٣٦ - ١٨١٩) .

وحدات الشغل الكهربائي والقدرة الكهربائية :

الكمية	الرمز	الوحدة	الاختصار
الشغل	ش	واط ثانية	و.ث
القدرة	قد	واط	واط

وتستخدم وحدات مشتقة من هذه الوحدات الأساسية مثل :

كيلوواط ساعة (ك.و.س) .

$$١ \text{ ك.و.س} = ٣٦٠٠ \text{ واط ثانية (و.ث) .}$$

وتستخدم عادة الوحدات التالية للقدرة الكهربائية :

$$١ \text{ كيلوواط (ك.و)} = ١٠٠٠ \text{ واط}$$

$$١ \text{ ميغاواط} = ١٠٠٠ \text{ واط}$$

مثال :

ما زمن تشغيل مصباح إشعاعي ليئذل شغلا قيمته ١ كيلوواط ساعة ، إذا كان دخل قدرته ٢٥٠ واط ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = ٢٥٠ \text{ واط}$$

$$\text{ش} = ١ \text{ كيلواط ساعة}$$

المطلوب : الزمن ز

الحل :

$$\text{قد} = \frac{\text{ش}}{\text{ز}} , \text{ ز} = \frac{\text{ش}}{\text{قد}}$$

$$\text{ز} = \frac{١ \text{ ك.و.س}}{٢٥٠ \text{ واط}} = \frac{١٠٠٠ \text{ واط س}}{٢٥٠ \text{ واط}} = ٤ \text{ ساعة}$$

يمكن تشغيل المصباح الاشعاعى لفترة قدرها ٤ ساعات لكى يهذل شغلا قدره ١ كيلواط ساعة

مثال :

يراد تركيب جهاز طهو كهربائى دخل قدرته ٢٠٠٠ واط فى منزل . يغذى هذا المنزل من دائرة مأخذها الرئيسى ٢٢٠ فلت بمصهر وقاية ١٠ أمبير . وقد تم تركيب المعدات الكهربائية المنزلية العادية ، مثل المسخن وجهاز الراديو والتلفزيون وخلافه . فهل يمكن توصيل جهاز الطهو الكهربائى هذا دون اتخاذ أى تدبير آخر ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = ٢٠٠٠ \text{ واط}$$

$$\text{ج} = ٢٢٠ \text{ فلت}$$

المطلوب شدة التيار ت

الحل :

$$\text{قد} = \text{ج} \times \text{ت}$$

$$\text{ت} = \frac{\text{قد}}{\text{ج}}$$

$$\text{ت} = \frac{٢٠٠٠ \text{ واط}}{٢٢٠ \text{ فلت}} = \frac{٢٠٠٠ \text{ فلت أمبير}}{٢٢٠} = ٩ \text{ أمبير}$$

دخل التيار لهذا الجهاز حوالى ٩ أمبير ، ونظرا لوجود أجهزة كهربائية أخرى إلى جانب جهاز الطهو ، تشغل فى نفس الوقت ، فتكون الدائرة محملة بحمل زائد ، وينصهر المصهر نتيجة لهذا الحمل الزائد . لذا يحتاج جهاز الطهو إلى دائرة كهربائية أخرى ، بمصهر وقاية ١٠ أمبير .

يعبر عن كفاءة مكنة أو جهاز أو تركيبات كهربائية بنسبة المخرج النافع إلى الدخل الكلى للقدرة . ويبدل المصممون والمتجرون أقصى جهد ممكن في جميع الفروع الهندسية ، في سبيل تصميم وبناء المكنات والأجهزة وغيرها ، لتحقيق اقتراب هذه النسبة من الواحد الصحيح أو مائة في المائة . وهذا يعنى أن المشتري يبحث دائماً عن مثل هذه المكنة أو الجهاز الذى يكون استهلاكه وفقد طاقته أصغراً ما يمكن . ومثال ذلك : المصابيح الفلورية ذات الجهد المنخفض ، التى حلت محل المصابيح المتوهجة في كثير من المصانع والمكاتب . وهذا يرجع أيضاً إلى الكفاءة الضوئية العالية لها . وتتراوح هذه الكفاءة بين ٣ و ٣٠,٥ أضعاف كفاءة المصابيح المتوهجة ، التى لها نفس دخل القدرة ، ويرمز للكفاءة بالرمز η (ايتا) ، ويرمز لدخل القدرة بالرمز قد ، وخرج القدرة بالرمز قخ وعليه .

$$\frac{\text{قدخ}}{\text{قد}} = \eta$$

ويعبّر عن الكفاءة بكسر عشري (فمثلاً ٠,٩ ، ٠,٧ ، ٠,٦٢) ويبين خرج القدرة المتاحة بدلالة كسور من دخل القدرة . وإذا أريد التعبير عن الكفاءة كنسبة مئوية ، تجرى الطريقة التالية :

$$\eta = ٠,٥ = \frac{٥٠}{١٠٠} = ٥٠ \text{ في المائة} .$$

مثال :

وجد أن خرج القدرة لجهاز كهربائى هو ٤٠٠ واط . ويتوصّل أميتر بخط التغذية ، لوحظ أنه يبين شدة تيار قيمتها ٢,٢٨ أميتر ، وكان جهد المأخذ الرئيسى ٢٢٠ فلت . ما كفاءة هذا الجهاز ؟

المعطيات :

$$\text{قدخ} = ٤٠٠ \text{ واط}$$

$$\text{ت} = ٢,٢٨ \text{ أميتر}$$

$$\text{ج} = ٢٢٠ \text{ فلت}$$

للطلوب :

الكفاءة η

الحل :

$$\text{قد} = ج \times ت \quad \text{قد} = ٢٢٠ \times ٢,٢٨$$

$$\text{قد} = ٥٠١,٦ \text{ واط}$$

$$\eta = \frac{\text{قدخ}}{\text{قد}} = \eta , \quad \frac{٤٠٠ \text{ واط}}{٥٠١,٦} = \eta , \quad \eta = ٠,٧٩$$

كفاءة هذا الجهاز هي ٠,٧٩

أى أن ٧٩ فى المائة من دخل القدرة المستخدمة أمكن الاستفادة بها .

مثال :

تنص لوحة المقننات (لوحة البيانات) لجهاز كهربائى على أن كفاءته هي ٠,٨٥ ودخل قدرته ٢٥٠٠ واط ، ما خرج قدرته ؟

المعطيات :

$$\eta = \text{الكفاءة} = ٠,٨٥$$

$$\text{قد} = ٢٥٠٠ \text{ واط}$$

المطلوب : قدخ

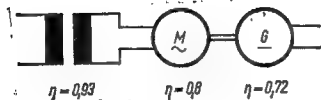
الحل :

$$\eta = \frac{\text{قدخ}}{\text{قد}}$$

$$\text{قدخ} = \eta \times \text{قد} = ٠,٨٥ \times ٢٥٠٠$$

$$\text{قدخ} = ٢١١٥ \text{ واط}$$

خرج القدرة لهذا الجهاز هو ٢١١٥ واط



شكل ٨٥ :

رسم الدائرة للمسألة المطلوب حلها :

وبين التحليل الموجز لتركيبات كهربائية تتكون من ثلاث وحدات ، مدى أهمية أخذ الكفاءة فى الاعتبار .

مثال :

يبين الشكل (٨٠) رسم الدائرة لتركيبات كهربائية مكونة من محول جهد عالى ، ومجموعة توليد كهربائية ، تشتمل على محرك تيار متردد يدير مولد تيار مستمر (وتستخدم مثل هذه التركيبات فى الحمام والطلاء الكهربائى) .

إذا كان دخل القدرة للمحول ٤,٥ كيلوواط . فما الكفاءة الإجمالية لهذه التركيبات ؟

المعطيات :

$$\text{قد} = ٤,٥ \text{ كيلوواط}$$

$$\eta \text{ للمحول} = ٠,٩٣$$

$$\eta \text{ للمحرك الكهربائى} = ٠,٨$$

$$\eta \text{ للمولد الكهربائى} = ٠,٧٢$$

المطلوب :

$$\eta \text{ الكفاءة الإجمالية}$$

الحل :

يمكن أولاً حساب قد المحول ، ونعتبر هذه النتيجة قد المحرك الكهربائى . نحسب بعد ذلك قد المحرك على أساس دخل قدرته . ونعتبر قد المحرك على أنها قد المولد الكهربائى ، ومنها يمكن حساب قد المولد . ويمكن ربط الأخيرة مع قد المحول . ونحصل على نفس النتيجة من حاصل ضرب كل القيم على حدة للكفاءة :

$$\eta = \eta \text{ للمحول} \times \eta \text{ للمحرك الكهربائى} \times \eta \text{ للمولد الكهربائى}$$

$$\eta = ٠,٩٣ \times ٠,٨ \times ٠,٧٢$$

$$\eta = ٠,٥٣$$

الكفاءة الكلية لهذه التركيبة ٠,٥٣ . وهذا يعنى أن ٥٣ فى المائة فقط من دخل قدرة المحول أمكن الحصول عليها كخرج قدرة المولد . أى أنه أمكن استخدام حوالى ٢,٤ كيلوواط فقط من دخل قدرة قيمتها ٤,٥ كيلوواط .

الفصل التاسع

المغناطيسية ، والمغناطيسية الكهربائية

شرحنا في مقدمة هذا الكتاب التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي . ويستفاد بهذا التأثير في عدة نباط وأجهزة ومكنات مغناطيسية كهربائية . فثلا ، تشغل جميع المكنات الدوارة على مبادئ المغناطيسية الكهربائية . ومن هذه المكنات المولدات والمحركات الكهربائية . عرف الإنسان من قديم الزمن الظاهرة المغناطيسية ، وكان ذلك قبل اكتشاف الظواهر المغناطيسية الكهربائية بفترة طويلة .

١/٩ - الظواهر المصاحبة للمغناطيسات الطبيعية والصناعية :

(١) نبذة تاريخية عن المغناطيسات الطبيعية :

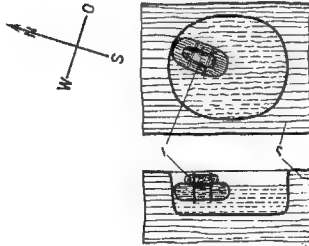
لم يعرف بعد على وجه التأكيد أول من اكتشف الحام الذي عرف بالمجنتيت أو حجر المغناطيس من قديم الزمن .

ويحدث هذا الحام تأثيرا ديناميكيا ، يمكن ملاحظته عند جذبهِ للمواد الحديدية والنيكل والكوبلت عند تقريبها إليه .

ومن المسلم به أن هذه المعرفة لم يكن لها الأهمية العملية في ذلك الوقت ، بينما كان الاكتشاف الأكثر أهمية هو التالي : إذا علقت قطعة من المجنتيت بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها توجه نفسها في اتجاه معين بالنسبة لما يحيط بها . ونعرف اليوم أن هذا التوجيه يتطابق مع اتجاه شمال جنوب الكرة الأرضية . وقدمت خاصية المجنتيت هذه وسائل مقبولة . لتوجيه البحارة ، خلال رحلاتهم المخوفة بالمخاطر في الأيام الأولى البحرية .

وبين الشكل (٨١) مثالا للنموذج المبسط

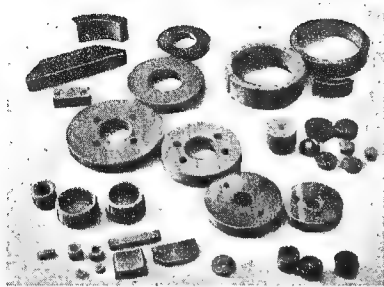
لبوصلة جيروسكوبية .



شكل ٨١ : قطعة من المجنتيت تستخدم كبوصلة يدائية كانت أساسا لبوصلة الحديثة الجيروسكوبية .

١ - خامة مجنتيت مربوط على قطعة من الخشب .

٢ - إناء خشبي مملوء بالماء ، ويسبح الحام المغناطيسي في الاتجاه بين الشمال والجنوب .



شكل ٨٢ : مغنطيسات خزفية
(VEB Keramische Werke
Hermisdorf, GDR)

(ب) المغنطيسات الصناعية :

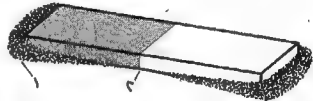
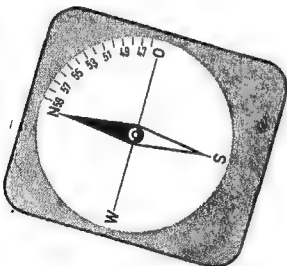
لم يعد للمجنيثية أهمية عملية في هذه الأيام . حيث استخدم بدلا منه مغنطيسات صناعية من الصلب وسبائكها وكذلك مغنطيسات خزفية . ويمكن تصنيع الأخيرة في أى شكل مطلوب كما في الشكل (٨٢) .

ونبدأ هنا بإيضاح بضعة مفاهيم خاصة بالمغنطيسية ، وذلك باستخدام قضيب مغنطيسي على سبيل المثال :

الأقطاب :

يبين الشكل (٨٣) قضيبا مغنطيسيا موضوعا على برادة حديد ناعمة . ونلاحظ أن الغالبية العظمى من هذه البرادة تتعلق بنهاى القضيب ، ويطلق على هاتين النهايتين « القطبان » . ولا تتعلق برادة الحديد حول مركز القضيب ، ويطلق على هذا الجزء من القضيب « المنطقة المحايدة » للمغنطيس . ويجب التمييز بين القطب الشمالى والقطب الجنوبى للمغنطيس . وتشق تسمية القطبين من توجيه مغنطيس يعلق تعليقا حرا ، فالقطب الشمالى هو الذى يشير إلى الشمال الجغرافى .

ويبين الشكل (٨٤) بوصلة جيب بسيطة ، قضيبها المغنطيسي على هيئة إبرة مغنطيسية .



شكل ٨٣ : توزيع القوى على قضيب مغنطيسي .

- ١ - تؤثر القوى العظمى عند القطبين .
- ٢ - تأثير القوى في المنطقة المحايدة غير ملحوظ .

شكل ٨٤ : بوصلة في وضع اتجاه الشمال - الجنوب .

ولا ينطبق القطبان المغنطيسيان للكرة الأرضية على القطبين الجغرافيين تماما ، بل يوجد بينهما انحراف يؤخذ في الاعتبار عند تدريج البوصلة .
وتكون أقصى شدة التأثير المغنطيسي عند قطبي المغنطيس .

التجاذب والتنافر :

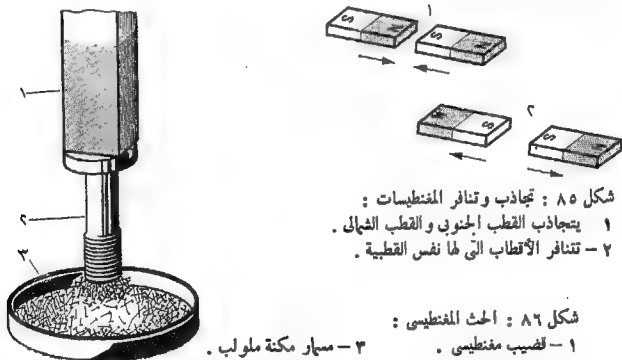
يبين الشكل (٨٥) قضيبا مغنطيسيا معلقا بحيث يكون حر الحركة ، ويقرب إليه مغنطيس آخر ، نلاحظ ما يلي :

بتقريب القطب الشمالي للقضيب المغنطيسي نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير نحو القضيب المقرب إليه . وهذا يعنى أنه عندما ما يواجه القطب الشمالي لمغنطيس القطب الجنوبي لمغنطيس آخر فإنهما يتجاذبان . ولكن عندما تقرب القطب الجنوبي لمغنطيس نحو القطب الجنوبي للمغنطيس المعلق ، يتحرك الأخير بعيدا عن المغنطيس المقرب . وهذا يعنى أنه عندما يواجه قطب مغنطيسي قطبا مغنطيسيا آخر مشابهاً له في القطبية ، فإنهما يتنافران .

تتجاذب الأقطاب المغنطيسية المختلفة القطبية ، وتتنافر الأقطاب المغنطيسية التي لها نفس القطبية (قانون تأثير القوى المغنطيسية) .

الحث المغنطيسي :

لقد تم وصف الحث الكهربائي عند شرح الظاهرة الاستكاثيكية الكهربائية . ويحدث أيضا حث مغنطيسي كما هو موضح بالشكل ٨٦ . حيث يوضع قطب مغنطيسي فوق مجموعة دبابيس صغيرة ، على مسافة كبيرة ، بحيث لا تنجذب إليه . وإذا وضعنا على سبيل المثال ، سمار مكنة ملولب ، بين قطب المغنطيس والدبابيس ، يجذب اللولب الدبابيس الصغيرة ، بفرض أن المسافة بينهما تكون صغيرة بدرجة كافية . وإذا حركنا المغنطيس بعيدا عن اللولب ، نلاحظ سقوط الدبابيس المعلقة باللولب .

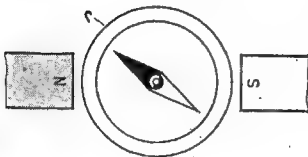
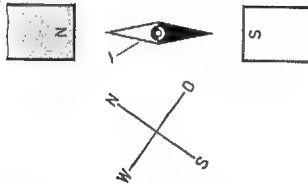


(ج) الاستباقية:

إذا وضعنا بدلا من مسبار المكنة الملولب ، المصنوع من الصلب ، قطعة أخرى من الحديد المطاوع (مادة حديدية غير مصلدة) ، في الحيزين القضيبي المغنطيسى والدبابيس ، نلاحظ أيضا سقوط الدبابيس عند رفع المغنطيس ، بينما يكون لدى قطعة الحديد المطاوع القدرة على جذب برادة الحديد . ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : لا تتلاشى المغنطيسية كلية بإبعاد القضيب المغنطيسى المؤثر ، وإنما تكون هناك بقية صغيرة منها ، في الحديد المطاوع . وتسمى هذه الظاهرة « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستباقية » . وقد أفادت هذه الظاهرة في تطوير صناعة المولدات الكهربائية فائدة كبيرة ، وسوف يأتي شرح هذا فيما بعد .

تأثير الحجب المغنطيسى :

لا تتجه إبرة مغنطيسية في اتجاه المغنطيسية الأرضية إذا وضعت بين قضبي مغنطيس ، ولكنها تتجه في اتجاه الشمال الجنوبي للقضيبي المغنطيسى ، نظرا لأن الأخير يحدث قوة أكبر على الإبرة من قوة المغنطيس الأرضى . وبوضع حلقة من الحديد المطاوع بين قطبي المغنطيس ، وإبرة مغنطيسية داخل هذه الحلقة ، نجد أن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال الجنوبي للمغنطيس الأرضى . ويتضح أنه ليس للمغنطيس أى تأثير مغنطيسى داخل حلقة الحديد المطاوع . ويطلق على هذه الظاهرة « تأثير الحجب المغنطيسى » ، وتستغل هذه الظاهرة في البوصلات المستخدمة في السفن . وعادة ما يدخل في صناعة هذه السفن ، كيات كبيرة من الصلب ، مما يؤثر على انضباط الإبرة المغنطيسية . ولهذا السبب تحجب الإبرة المغنطيسية لضمان الضبط الصحيح لها في اتجاه الشمال الجنوب . ويوضح الشكل (٨٧) تأثير الحجب المغنطيسى .



شكل ٨٧ : بيان تأثير الحجب المغنطيسى

١ - تتجه الإبرة المغنطيسية في اتجاه الأقطاب الموضوعة بينها .

٢ - إذا وضعت حلقة من الحديد المطاوع بين الأقطاب ، فإن الإبرة تتجه في الاتجاه الشمالى - الجنوبي الأرضى .

(د) النظرية الجزئية للمغناطيسية :

في مجال دراسة الظواهر المغناطيسية ، كان لابد من البحث عن إجابات لعدد من الأسئلة ، فعلى سبيل المثال ، يوجد دائماً قطبان مختلفا القطبية في المغنطيس ، ولا يوجد مغنطيس بقطب واحد . ولماذا يكون للمغناطيسات الصلب (والمغناطيسات الحزفية) مغناطيسية دائمة ، بينما تحتفظ المغناطيسيات من الحديد المطاوع بمغناطيسية استباقائية فقط ؟ . مثل هذه الأسئلة ، يمكن الإجابة عليها بفرض أن المواد المغناطيسية تتكون من مغناطيسيات متناهية في الصغر تسمى « مغناطيسيات جزئية » .

يوضح الشكل (٨٨) كيفية تكوين هذا المفهوم . بتقسيم قضيب مغنطيس عند المنطقة المحايدة ، نحصل على قضيبين مغناطيسيين ، لكل منهما قطب جنوبي واحد وقطب شمالي واحد . ويمكن الإستمرار في هذا التقسيم ، وأصغر ما نحصل عليه ، يكون عبارة عن مغنطيس بقطب جنوبي وقطب شمالي .

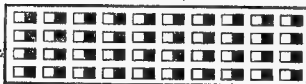
ويفترض أنه حتى مثل هذه الأجزاء الصغيرة التي لا يمكن قطعها من المغنطيس بأدوات القمع العادية ، تظل مغناطيسات ، وجميع آخر تكون أصغر أجزاء المواد المغناطيسية مغناطيسات . وحيث أنه يطلق على الأجزاء الصغيرة من المادة جزئيات ، فيطلق على هذه المغناطيسات الصغيرة « المغناطيسات الجزئية » .

ويفترض أيضا أن المغناطيسات الجزئية في أي مادة مغناطيسية بعيدة عن التأثير المغناطيسي تكون في أوضاع غير مرتبة وبغير اتجاه مفضل (الشكل ٨٩) .

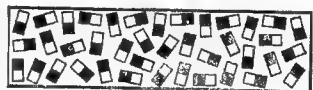
وعند منطقة هذه المواد المغناطيسية مثلا ، بذلك قضيب مغناطيسي ، ترتب المغناطيسات الجزئية نفسها بالطريقة المبينة بالشكل (٩٠) . وبمنطقة الحديد المطاوع ، يفقد مغناطيسيته بعد وقت قصير ، ولكن يبقى قليل من المغناطيسات الجزئية به في حالة مرتبة . وهذا هو سبب حدوث ظاهرة الاستباقائية . وعندما يَمُغْنَط الصلب يتحول إلى مغنطيس . ويرجع ذلك إلى بنية الصلب الكثيفة والقوية . ويفقد الصلب مغناطيسيته إذا تعرض لاهتزازات عنيفة ، أو درجات حرارة عالية .



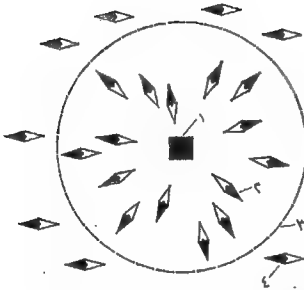
شكل ٨٨ : تقسيم المغناطيسات .



شكل ٩٠ : مغناطيسات جزئية مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٨٩ : مغناطيسات جزئية غير مرتبة في مادة مغناطيسية



شكل ٩١ : هذا التوضيح يساعد في تباين المجال المغنطيسى

١ - مغنطيس .

٢ - إبرة مغنطيسية في نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٣ - حدود المجال المغنطيسى .

٤ - إبرة مغنطيسية خارج نطاق مدى المجال المغنطيسى .

٢/٩ - المجالات المغنطيسية :

(١) تعريف مفهوم المجال المغنطيسى :

يستخدم الشكل (٩١) لإيضاح مفهوم المجال المغنطيسى . وفيه ترتب إبر مغنطيسية بحيث تتركز لتكون حرة الدوران ، على مسافات مختلفة حول مغنطيس .

وتوضع الإبر المغنطيسية في مستوى واحد معين (الشكل ٩١) وعلى أى حال ، فإنه يمكن وضع هذه الإبر فوق أو أسفل هذا المستوى المعين أيضا . ونلاحظ الظاهرة التالية : تنضبط جميع الإبر المغنطيسية بحيث تشير إلى المغنطيس ، وذلك في نطاق مسافة معينة منه ، وخارج هذا النطاق تنضبط الإبر المغنطيسية بحيث تكون في الاتجاه الشمال - الجنوبي الأرضى .

ونحصل من ذلك على الخلاصة التالية : تؤثر القوى المغنطيسية الناتجة عن مغنطيس في نطاق حيز معين ، يطلق عليه « المجال المغنطيسى » .

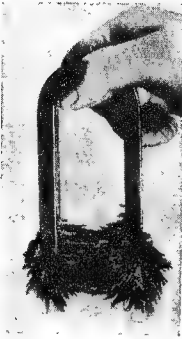
والمجال المغنطيسى هو حيز تكون المغنطيسية فعالة في نطاقه ، بحيث توجد عند أى نقطة فيه قوة مغنطيسية .

وللأرض مجال مغنطيسى أيضا . ويوضح الترتيب الخاص للإبر المغنطيسية المعين في الشكل (٩١) الحقيقة بوجود مجالين مغنطيسيين ، المجال المغنطيسى للأرض والمجال المغنطيسى للمغنطيس :

(ب) خطوط المجال المغنطيسى ونماذج خطوط المجال :

لنعتبر إمكانية مشاهدة حدود وقوى المجال المغنطيسى بطريقة مرضية ، نستخدم ما يسمى « بخطوط المجال المغنطيسى ونماذجها » ، وتعرف أيضا بخطوط الفيض المغنطيسى ، كوسيلة لتوضيح هذه الظاهرة .

ويساعد الشكلان (٩٢) ، (٩٣) في تفهم كيفية تكوين وتخييل صورة لخطوط المجال المغنطيسى . فخمس قضيب مغنطيسى ، أو مغنطيس على هيئة حدوة الحصان ، في كومة صغيرة من برادة الحديد ، يتعلق بالمغنطيس عدد كبير من البرادة بترتيب معين .



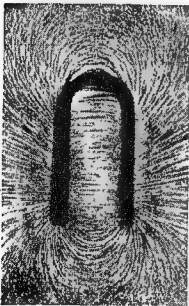
شكل ٩٢ : قضيب مغناطيسى
معلق به برادة حديد .



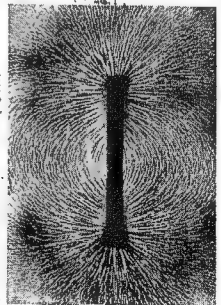
شكل ٩٣ : مغناطيس على هيئة
حدوة الحصان معلق به برادة
حديد .

ويتضح من هذه التجربة أن كمية قليلة من البرادة تتعلق بالقضيب المغناطيسى فى المنطقة المحاذية
منه ، بينما توجد القوى العظمى عند قطبي مغناطيس حدوة الحصان ، ويوضح الشكلان التأثير
الخاص بالمغناطيسية .

ويمكن إيضاح خطوط الفيض المغناطيسى بطريقة أحسن ، وذلك بواسطة لوح من الزجاج
مغطى ببرادة الحديد . وبوضع مغناطيس فوق هذا اللوح ، والدق على اللوح دقا خفيفا ، تنظم
الأجزاء نفسها بترتبية معينة مينة خطوطا للفيض المغناطيسى على هيئة خطوط متقاربة نوعا .
ويوضح الشكلان (٩٤) ، (٩٥) نموذجين لخطوط الفيض المغناطيسى .



شكل ٩٤ : تشكيل المجال المغناطيسى
لقضيب مغناطيسى يمكن مشاهدته
مساعدة برادة الحديد .



شكل ٩٥ : تشكيل المجال المغناطيسى
لمغناطيس على هيئة حدوة الحصان
يمكن مشاهدته بمساعدة برادة الحديد .

ويستخلص من ذلك ما يلي :

خطوط الفيض المغنطيسي هي خطوط مغلقة وتمتد من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى للمغنطيس . وتبين نماذج خطوط الفيض شكل المجال المغنطيسى .

٣/٩ - الظاهرة المغنطيسية الكهربائية :

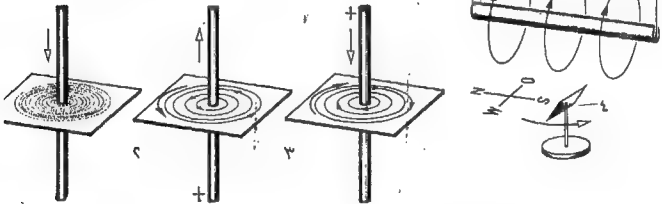
شرحنا فى الفصل الأول من هذا الكتاب التأثير المغنطيسى للتيار الكهربائى ، وكان أورستد Oersted الفيزيائى الدانمركى أول من اكتشف الظاهرة المغنطيسية الكهربائية . حيث لاحظ فى عام ١٩٢٠ انحراف البوصلة المغنطيسية الموضوعة على محور ارتكاز عن اتجاه الشمال - الجنوب ، إذا وضعت قريبا من موصل مستقيم يحمل التيار الكهربائى . وأوضح التجارب التى أجراها أورستد تكوين مجالات مغنطيسية حول الموصلات الحاملة للتيار الكهربائى .

(١) المجال المغنطيسى للموصل المستقيم الحامل للتيار الكهربائى :

يبين الشكل (٩٦) ترتيب الاختبار التى يحتمل أن يكون قد استخدمها أورستد . وبين اتجاه الإبرة المغنطيسية اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى . ويمتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى على اتجاه التيار الكهربائى ، ويمكن إثبات ذلك أيضا بمساعدة الإبرة المغنطيسية .

شكل ٩٦ : تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى :

- ١ - مصدر للجهد .
- ٢ - موصل .
- ٣ - خطوط الفيض واتجاهها .
- ٤ - الإبرة المغنطيسية المنحرفة .



شكل ٩٧ : هذا التوضيح يساعد فى تبين العلاقة بين اتجاه خطوط الفيض المغنطيسى واتجاه التيار الكهربائى

- ١ - خطوط المجال حول الموصل الحامل للتيار الكهربائى .
- ٢ - اتجاه خطوط المجال .
- ٣ - اتجاه خطوط المجال بعد عكس اتجاه التيار .

وبين الشكل (٩٧) ترتيب اختبارهما موصل يحترق لوحا من الزجاج مغطى ببرادة الحديد الناعمة . وعند إمرار تيار كهربائي بالموصل ، بالدق الخفيف على لوح الزجاج ، ترتب برادة الحديد نفسها طبقا لخطوط الفيض مكونة نموذجا نوعيا للمجال المغنطيسي للموصل . وتبين الإبر المغنطيسية الموضوعة على لوح الزجاج اتجاه الفيض . وعند عكس القطبية في هذه الترتيب (وذلك بجعل التيار الكهربائي يمر في عكس اتجاهه الأول) ، ينعكس أيضا اتجاه الفيض . ويمكن بسهولة تحديد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي التي تعتمد على اتجاه التيار الكهربائي ، وذلك بمساعدة القاعدتين التاليتين .

قاعدة اللولب :

عند ربط مسار ملولب يمتد إلى أسفل في اتجاه سريان التيار الكهربائي ، فإن اتجاه دورانه يبين اتجاه الفيض المغنطيسي .

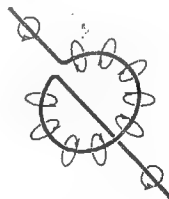
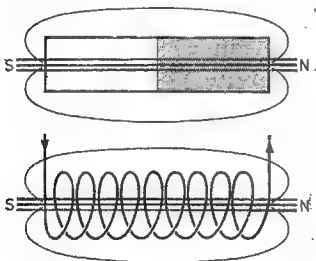
قاعدة الإبهام :

عند القبض على موصل حامل للتيار باليد اليمنى ، بحيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه سريان التيار ، تبين أطراف الأصابع اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي .

(ب) المجال المغنطيسي للملف حامل للتيار الكهربائي :

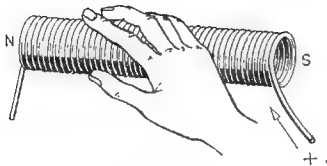
عند ثني موصل مستقيم لتكوين حلقة دائرية ، يحدث تراكب للمجالات المغنطيسية لهذا الموصل ، نتيجة لمرور التيار الكهربائي خلاله . وبين الشكل (٩٨) حدوث هذه الظاهرة على حلقة أو لفيفة واحدة .

وبوضع عدة لفيفات من موصل بجانب بعضها البعض ، نحصل على ملف . وإذا كان طول هذا الملف كبيرا بالنسبة لقطره ، نلاحظ أن تأثير هذا الملف عندما يمر خلاله تيار كهربائي ، يشبه تماما تأثير قضيب مغنطيسي (الشكل ٩٩) .



شكل ٩٩ : المجالات المغنطيسية لقضيب مغنطيسي وملف حامل للتيار الكهربائي .

شكل ٩٨ : تراكب المجالات المغنطيسية في ملف حامل للتيار الكهربائي .



شكل ١٠٠ :

ويمكن بسهولة معرفة قطبية الملف الحامل للتيار بمساعدة القاعدتين التاليتين :

قاعدة عقرب الساعة :

عند النظر إلى فتحة ملف ، يكون طرف الملف المواجه للناظر هو القطب الجنوبي إذا مر التيار عبر الملف في اتجاه حركة عقارب الساعة ، ويكون هو القطب الشمالي إذا مر التيار في اتجاه عكس حركة عقارب الساعة .

قاعدة الإبهام (الشكل ١٠٠) :

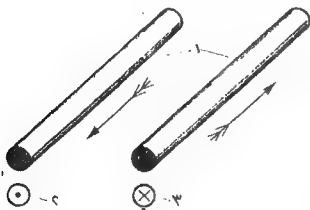
عند القبض على ملف باليد اليمنى ، بحيث تشير أطراف الأصابع لاتجاه سريان التيار بالملف ، يبين الإبهام الممتد اتجاه خطوط الفيض المغنطيسي داخل الملف ، ويبين طرف الإبهام موضع القطب الشمالى .

(ج) القوى المؤثرة بين الموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى :

بالإضافة إلى ما سبق شرحه بالنسبة لتأثير المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى على نقاط مثل الإبر المغنطيسية ، يفرض البحث نفسه لإيجاد التأثير المتبادل بين المجالات المغنطيسية للموصلات والملفات الحاملة للتيار الكهربائى .

التجاذب والتنافر بين الموصلات المتوازية :

تستخدم هذه الطريقة بكثرة لبيان اتجاه التيار في موصل . وبين الشكل (١٠١) قطعتين من موصلين ، ويوضح اتجاه التيار في كل منهما سهم مواز لهما . وعند النظر إلى المقطع المستعرض للموصل يظهر رأس السهم على هيئة نقطة ، في هذه الحالة يكون اتجاه التيار نحو الناظر . وإذا كان سريان التيار في اتجاه عكسى ، تظهر مؤخرة السهم على هيئة صليب عند مقطع الموصل .



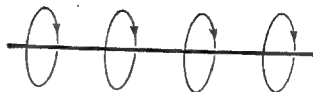
شكل ١٠١ : إيضاح لاتجاه التيار في الموصلات .

١ - قطعتان لموصلين ويوضح عليهما اتجاه سريان التيار .

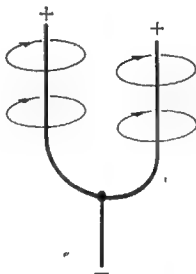
٢ - يسرى التيار في اتجاه الناظر .

٣ - يسرى التيار في الاتجاه العكسى للناظر .

شكل ١٠٢ : موصل مستقيم وعليه خطوط المجال
المغناطيسي :



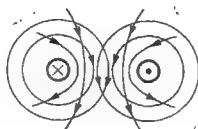
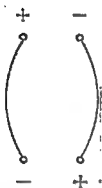
شكل ١٠٣ : موصل بشكل حرف U .



شكل ١٠٤ : تمثيل للمجال المغناطيسي لموصلين
متوازيين يحملان التيار في نفس الاتجاه .

ويبين الشكل (١٠٢) موصلًا كهربائيًا وخطوط المجال المغناطيسي تحيط به . وبشيء هذا الموصل
كما في الشكل (١٠٣) ، يكون الفيض المغناطيسي كما هو مبين في الشكل (١٠٤) .
وباستخدام موصلين من النوع المرن بدلا من النوع الصلب ، يحدث تجاذب متبادل بينهما
عند مرور تيار بشدة كافية خلالهما (الشكل ١٠٥) .

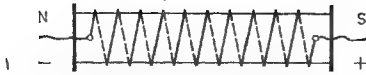
وعندما يمر التيار عبر الموصلين المتوازيين في اتجاه يصاد أحدهما الآخر ، تكون خطوط
الفيض النموذج المبين بالشكل (١٠٦) . وعندما تمر التيارات الكهربائية عبر الموصلات
في اتجاه يصاد أحدهما الآخر يتنافر الموصلان مع بعضهما البعض .



شكل ١٠٧ : التنافر المتبادل
بين موصلين متوازيين حاملين
التيار الكهربائي .

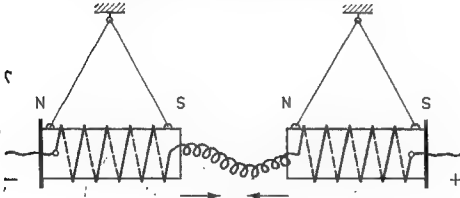
شكل ١٠٦ : تشكيل للمجال المغناطيسي
حول موصلين متوازيين حاملين للتيار
في اتجاهين متضادين .

شكل ١٠٥ : تجاذب موصلين
متوازيين حاملين
التيار الكهربائي .



شكل ١٠٨ :

التجاذب المتبادل بين
ملفين حاملين للتيار
الكهربائي :

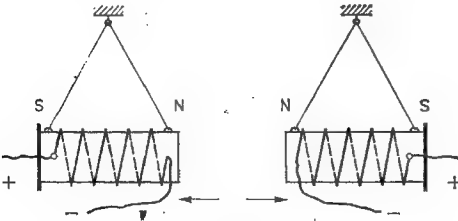


١ - ملف طويل ومبين عليه اتجاه التيار وقطبيه .

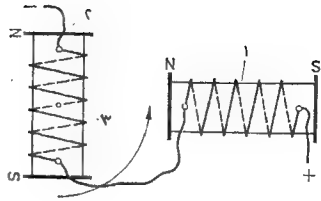
٢ - نصفًا ملف حامل للتيار في نفس الاتجاه .

التجاذب والتنافر بين الملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

بمقارنة تصرف الملفات الحاملة التيار الكهربائي بالقضبان المغناطيسية يتضح وجود تشابه بينهما من حيث المجال المغناطيسي والقطبية . ويؤدي هذا إلى حدوث نفس الظاهرة التي تلاحظ عند تقسيم قضبان المغناطيسات ، وذلك عند تقسيم الملفات . وكما سبق ذكره ، فإن تقسيم القضيب المغناطيسي إلى قسمين ينتج عنه مغناطيسين بقطبية عكسية عند مستوى المقطع ، ولذلك فإنهما يتجاذبان بعد التقسيم . وينطبق هذا تماما على الملفات الحاملة للتيار الكهربائي ، كما هو مبين بالشكل (١٠٨) . وينقسم الملف (١) إلى النصفين المعلقين والموصلين بالطريقة الموضحة في (٢) . وبإمرار التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبة ، يتجاذب الملفان ، ولكنهما يتنافران عند عكس اتجاه التيار في أحدهما (الشكل ١٠٩) .



شكل ١٠٩ : تنافر متبادل للملفين حاملين لتيارين في اتجاهين متضادين .



شكل ١١٠ : دوران الملفات الحاملة للتيار :
 ١ - ملف مثبت .
 ٢ - محور ارتكاز .
 ٣ - ملف متحرك .

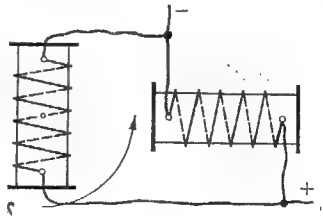
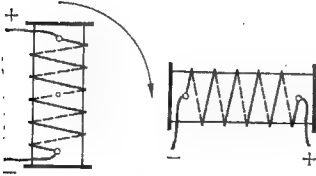
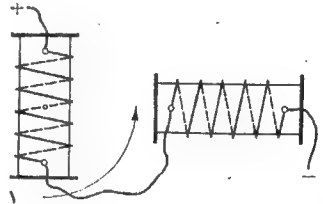
دوران الملفات الحاملة للتيار :

عندما نضع ملفين حاملين للتيار الكهربائي، بحيث يكون أحدهما مرتكزا بطريقة يكون فيها حر الدوران أمام الآخر ، نجد أن الملف الحر الدوران يتصرف كما هو مبين بالشكل (١١٠) .
 وبإمرار التيار عبر هذه الترتيبة ، يدور الملف القابل للدوران ، حتى يصبح قطبه الجنوبي مقابلا للقطب الشمالي للملف الثابت . ويكون اتجاه اللف لكلا الملفين واحدا . ونحصل على نفس اتجاه الدوران بعكس التيار الكهربائي المسار عبر كلا الملفين ، أو بمعنى آخر ، بعكس القطبية (الشكل ١١١ - ١) . ونحصل أيضا على نفس اتجاه الدوران كما في الحالتين السابقتين بتوصيل الملفين على التوازي كما في الشكل (١١١ - ٢) .

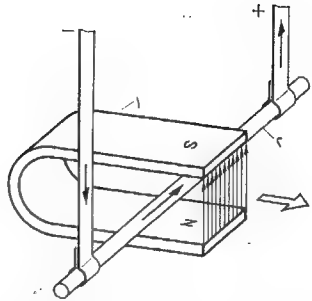
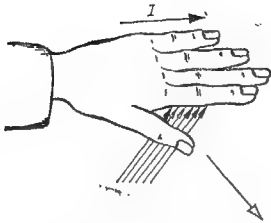
ونحصل على عكس اتجاه الدوران بتوصيل الملفين كما هو مبين بالشكل (١١٢) .

شكل ١١١ : اتجاه الدوران للملفات الحاملة للتيار الكهربائي :

- ١ - اتجاه الدوران لا يتغير بتغيير اتجاه التيار .
- ٢ - اتجاه الدوران لا يتغير كذلك بتوصيل الملفين على التوازي .



شكل ١١٢ : عكس اتجاه الدوران .



شكل ١١٣ : موصل حامل للتيار في المجال المغنطيسي
 لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان :
 ١ - مغنطيس حدوة الحصان . ٢ - موصل متحرك .

وتستغل هذه الظاهرة في آليات الحركة الديناميكية الكهربائية ، حيث يكون انحراف المؤشر المثبت في الملف المتحرك ، هو قياس للكية الكهربائية . وسيرد فيما بعد وصف تفصيلي لهذه التباطؤ .

(د) الملفات والموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

والسؤال الذي يطرح نفسه ، هو كيفية تصرف الموصلات والملفات الحاملة للتيار في المجالات المغنطيسية التي تنتجها المغنطيسيات الصناعية (المغنطيسات الدائمة) .

الموصلات الحاملة للتيار الكهربائي في مجال مغنطيسي :

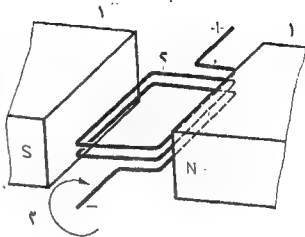
يبين الشكل (١١٣) موصلا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي لمغنطيس على هيئة حدوة الحصان . عندما يحمل الموصل التيار ، فإنه يدفع خارج المجال المغنطيسي (ينحرف) . ولإيضاح ذلك ، يملق الموصل بشريحتي توصيل . ويلاحظ أن هناك علاقة متبادلة بين اتجاه التيار ، ووضع المجال المغنطيسي ، واتجاه الانحراف ، وذلك عند إمرار تيار ذي شدة كافية عبر الترتيبة . ويعبر عن هذه العلاقة بالطريقة التالية المعروفة بقاعدة اليد اليسرى :

إذا كانت خطوط الفيض المغنطيسي تخترق راحة اليد ، بينما تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار الكهربائي ، فإن الإبهام الممتد يشير إلى اتجاه الانحراف .
 الملف الحامل للتيار في مجال مغنطيسي :

يبين الشكل (١١٥) ملفا حاملا للتيار في مجال مغنطيسي على هيئة حدوة الحصان .

يدور الملف عندما يمر عبره تيار كهربائي بشدة كافية . ويمكن معرفة اتجاه الدوران بمساعدة قاعدة اليد اليسرى .

- شكل ١١٥ : ملف حامل للتيار في مجال بين قطبي مغناطيس .
 ١ - قطبا مغناطيس . ٣ - اتجاه الدوران .
 ٢ - ملف مثبت على محور ارتكاز .



وهذه الظاهرة المغناطيسية الكهربائية هي الأساس لعدد من أجهزة القياس الكهربائية والمحركات الكهربائية التي ستناقش في أقسام مستقلة من الكتاب .

٩/٤ - كميات لتحديد قيمة المجالات المغناطيسية :

(١) الموصلية المغناطيسية - النفاذية :

عندما نضع مغناطيسا صغيرا في مجال مغناطيسي يحدث تأثير ديناميكي يجذب أو يبعد هذا المغناطيس ، ويعتمد ذلك على وضع المغناطيس بالنسبة للمجال المغناطيسي . ويمكن قياس مثل هذا التأثير الديناميكي على سبيل المثال بواسطة ميزان زنبركي .

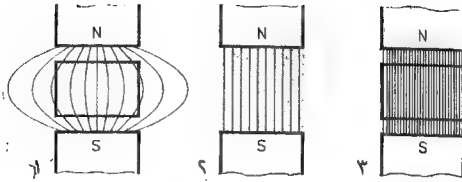
ويمكن لمجالين مغناطيسيين لهما نفس المدى أن يحدثا تأثيرين ديناميكيتين مختلفين على مغناطيس صغير جدا . وهناك عدة أسباب لهذه الظاهرة نشرحها فيما يلي :

يكون للمجال المغناطيسي الذي يحدث قوة أكبر على مغناطيس ، خطوط مغناطيسية للفيض « كثافتها أعلى » من المجال الآخر الذي له نفس المدى والذي يحدث قوة أقل على هذا المغناطيس . وتبتمد كثافة خطوط المجال المغناطيسي على نوع المادة التي يحدث فيها هذا المجال . وتسمى خاصية المادة التي تؤثر على كثافة خطوط المجال المغناطيسي « الموصلية المغناطيسية » أو « النفاذية » ويرمز لهذه الكمية بالرمز μ (ميو) .

(ب) المواد الدايما مغناطيسية والبارا مغناطيسية :

النفاذية لمادة ما هي عدد يعبر عن انحراف الموصلية المغناطيسية لهذه المادة عن تلك الخاصة بالهواء ($\mu = 1$) .

فالمواد التي تؤثر على المجال المغناطيسي فتقلل كثافة خطوط المجال المغناطيسي (مثل البزموت والنحاس الأحمر والانتيمون والذهب) تسمى « مواد ديا مغناطيسية » ونفاذيتها $\mu = 1$.
 وأما المواد التي تؤثر على المجال المغناطيسي فتزيد من كثافة خطوط المجال المغناطيسي (مثل



شكل ١١٦ : المواد الدايا مغناطيسية والبارا مغناطيسية :

١ - تشكيل للمجال المغناطيسي في وسط دايا مغناطيسي .

٢ - تشكيل للمجال المغناطيسي في الهواء كوسط .

٣ - تشكيل للمجال المغناطيسي في وسط بارا مغناطيسي .

الألومنيوم والبلاطين وفي نطاق مدى معين لدرجة الحرارة (الحديد والصلب والكوبلت والنيكل) ، فتسمى « مواد بارا مغناطيسية » ونفاذيتها $\mu < 1$ (الشكل ١١٦) .

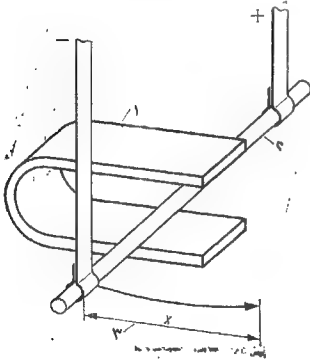
(ح) الحث المغناطيسي :

الكثافة الكلية لجميع خطوط المجال المغناطيسي تسمى كثافة الفيض المغناطيسي . وهناك علاقة بين الحث المغناطيسي والوحدة الميكانيكية للقوة (ق) وشدة التيار الكهربائي (ت) ، وتوضح هذه العلاقة بالاختبار التالي : يبين الشكل (١١٧) موصلا من نوع القضيب ، معلقا حرا في المجال المغناطيسي لمغناطيس على هيئة حدوة الحصان . وعند إمرار تيار كهربائي (ت) عبر هذا الموصل ، فإنه ينحرف بعيدا عن المجال المغناطيسي . والقوة (ق) التي تؤثر على الموصل تميز بطول هذا الانحراف (س) . وعلى هذا فإن :

ق \propto س

ويقل الانحراف عند تخفيض شدة التيار
المار عبر الموصل ، ويزيد هذا الانحراف
بازدياد شدة التيار . وعليه يتضح أن القوة (ق)
تتناسب طرديا مع شدة التيار (ت) . أي أن :

ق \propto ت



شكل ١١٧ : الحث المغناطيسي :

١ - مغناطيس على هيئة حدوة الحصان .

٢ - موصل قابل للحركة .

٣ - انحراف (س) نتيجة إمرار التيار .

وبترتيب عدة مغنطيسات على هيئة حدود الحصان جنبا إلى جنب ، ووضع موصل من نوع القضيب في هذه الترتيبة بنفس الكية السابقة ، يزداد الانحراف كذلك عندما يمر التيار الكهربائي عبر هذه الترتيبة عليه :

ق α ل

حيث ل طول الموصل .

وباستعمال مغنطيس على هيئة حدود الحصان بشدة مجال أقل ، فإن الانحراف الناتج يكون أصغر ، وذلك بإمرار نفس شدة التيار (ت) ، ويكون الموصل نفس الطول كما في الترتيبة السابقة .

وإذا كانت شدة المجال المغنطيسي المستعمل في هذه التجربة أعلى ، فإن الانحراف الناتج (س) ، يزداد تحت نفس الظروف بالنسبة لشدة التيار وطول الموصل (ت ، ل) كما في التجربة السابقة .

وبإدخال شدة المجال المغنطيسي في هذه العلاقة : ق α ت × ل نحصل على هذه الصيغة :

ق = ف × ت × ل حيث ف (B) هو الحث المغنطيسي. وبجمل هذه الصيغة لإيجاد ف م ينتج :

$$\frac{ق}{ت \times ل} = (ف م)$$

ونحصل على الوحدة التالية ، إذا عبر عن (ق) بالنيوتن ، وشدة التيار (ت) بالأمبير (مب) والطول ل بالمتر (م) .

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{مب} \times \text{م}} = ف م$$

ولا تلائم هذه الوحدة المعادلات اللازمة لإيجاد قيم المجال المغنطيسي . وقد اشتقت وحدة أخرى من العلاقة بين الشغل الميكانيكي والكهربائي ، كما هو معروف في نظام الوحدات المستخدمة هنا أي أن :

واط . ثانية = نيوتن . متر

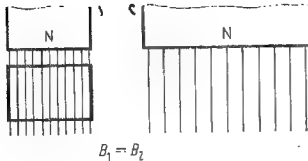
ومن ذلك نحصل على وحدة الحث المغنطيسي ف م

فل . مب . ث = نيوتن . م
وبقسمة الصيغة على مب .

$$\frac{\text{نيوتن} \times \text{م}}{\text{مب}} = \text{فل} . \text{ث}$$

وبقسمة الصيغة على ف م .

$$\frac{\text{فل} . \text{ث}}{\text{نيوتن}} = \frac{\text{م}}{\text{مب} \times \text{م}}$$



شكل ١١٨ : إيضاح الفيض المغنطيسي :

١ - عدد كبير من خطوط المجال المغنطيسي في وحدة المساحة .

٢ - عدد أصغر من خطوط المجال المغنطيسي في وحدة المساحة .

$$\frac{\text{فلط} \times \text{ثانية}}{\text{متر مربع}} = \frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}}$$

ف (B) لها نفس القيمة في كلتا الحالتين :

وتكتب أيضا الوحدة ($\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$) لخط المغنطيسي ف $\frac{\text{وبر}}{\text{م}}$ لأنه يطلق على « فلط . ثانية »

المصطلح « وبر » نسبة إلى عالم الطبيعيات وبر (Weber) .

وكثافة المجال المغنطيسي هي الحث المغنطيسي (ف) ووحدته $\frac{\text{وبر}}{\text{م}^2}$

(د) الفيض المغنطيسي :

اعتبرنا حتى الآن الحث المغنطيسي بصرف النظر عن الحيز الذي يشغله المجال المغنطيسي . وعموما فإنه ليس لهذا الحيز أهمية كبيرة في الهندسة الكهربائية ، بل الأهم هو مساحة مسار الفيض والتي تمر خلالها خطوط الفيض المغنطيسي عموديا عليها .

ويوضح الشكل (١١٨) مجالين مغنطيسيين هما نفس الحث المغنطيسي ف $\frac{\text{وبر}}{\text{م}}$ للمقارنة .

يستخدم الصلب في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال في حالة المجال المغنطيسي الذي حثه

ف (B₁) ، بينما يستخدم الهواء في الحيز الذي تمر عبره خطوط المجال المغنطيسي الذي حثه ف

(B₂) . ويتضح أن المساحة التي تمر عبرها خطوط الحث في الحالة الأولى تكون صغيرة

نوعا عنها في الحالة الثانية ، وذلك بالرغم من تساوى الحث المغنطيسي في كلتا الحالتين . ويتميز

العلاقة بين كثافة الحث المغنطيسي (ف) والمساحة (ج) التي يمر عبرها هذا الحث ، يطلق

على حاصل ضرب هاتين الكيتين (ج × ف) « الفيض المغنطيسي » ، ويرمز لها بالرمز Φ (فاي)

من ذلك يتضح أن :

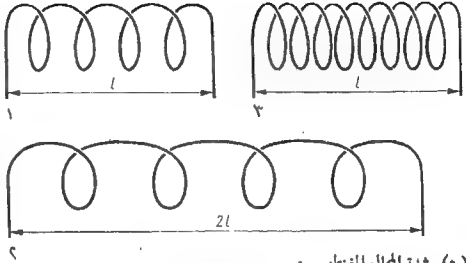
$$\Phi = \text{ف} \times \text{ج}$$

وحيث أن ف يعبر عنها $\frac{\text{فل} \cdot \text{ث}}{\text{م}^2}$ أو $\frac{\text{وب}}{\text{م}^2}$ والمساحة (ج) بالمتر المربع . فينتج أن وحدة

الفيض المغنطيسي Φ هي الوبر (فل . ث) .

شكل ١١٩ :
إيضاح شدة المجال
المغناطيسي :

- ١ - ملف (١) من ٤ لفات $l = 1$
- ٢ - ملف (٢) من ٤ لفات $l = 2$
- ٣ - ملف (٣) من ٨ لفات $l = 1$



(هـ) شدة المجال المغناطيسي :

يبين الشكل (٩٩) أن المجال المغناطيسي لكل من قضيب مغناطيسي وملف طويل يشبه كل منهما الآخر . ويمكن تحديد الحث المغناطيسي لكل منهما باستخدام أجهزة قياس مناسبة (مثل المغنيطومتر ، وهو جهاز يستخدم لقياس شدة المجال المغناطيسي) . والحث المغناطيسي هو كمية تعطي لإيجاد قيمة المجال المغناطيسي . ويمكن تعريف المجالات المغناطيسية الناتجة عن الملفات الحاملة للتيار بكمية أخرى على أساس العلاقة بين طول الملف وعدد لفيقات هذا الملف وشدة التيار الكهربائي المار عبره . ويبين الشكل (١١٩) ثلاث ملفات ، قطر لفاتها ومقاس سلكها (مقطعه المستعرض) تعتبر متساوية . وعليه فإنه يميز بينهما بعدد لفاتها (ن) وطول ملفاتها (ل) فقط .

أولاً : تمرر تيارات مختلفة الشدة عبر الملف (١) . ويقاس الحث المغناطيسي Φ في

كل حالة . وإذا أمرنا تياراً شدته أعلى ، يزداد الحث المغناطيسي كذلك . وعليه فإن :

ف α ت

وعندما تمرر تيارات لها نفس الشدة عبر الملف (١) أولاً ، ثم عبر الملف (٣) ، فيبين تحديد الحث المغناطيسي في كل حالة أنه يتضاعف بمضاعفة عدد اللفات ، بينما يكون طول الملفين متساوياً ، وعليه فإن :

ف α ن

وعندما تمرر تياراً له نفس الشدة ، أولاً عبر الملف (١) ، ثم عبر الملف (٢) ، فإن هذه التجربة تبين أن قيمة الحث المغناطيسي في الملف (٢) الذي طوله ضعف طول الملف (١) ولهما نفس عدد اللفات ، تكون نصف قيمة الحث المغناطيسي في الملف (١) . وهذان يعني :

ف $\alpha \frac{1}{l}$

وبإدماج هذه النتائج معاً في تعبير واحد نحصل على ما يلي : ف $\alpha \frac{n \times t}{l}$

ولكن المصطلح $\frac{ت \times ن}{ل}$ هو تعبير نسبي للحث المغنطيسى ، ورمزه α (H) ، وعليه تكون شدة المجال المغنطيسى :

$$\frac{ت \times ن}{ل} = \alpha$$

ونظرا لأن عدد اللفات ن هو عدد ليس له أبعاد ، تكون وحدة شدة المجال المغنطيسى (α)

$$\frac{مب}{م}$$

ويمكن تحديد كثافة المجال المغنطيسى بالحث المغنطيسى (ف_م) معبرا عنه $(\frac{وب}{م})$ ، أو بشدة

المجال المغنطيسى (α) معبرا عنها $(\frac{مب}{م})$. وهاتان الكميتان تتناسبان مع بعضهما البعض .

(و) النفاذية المطلقة للجزء المطلق :

طبقا للشرح السابق ، يمكن كتابة التناسب ف_م $\propto \frac{ت \times ن}{ل}$ بالصيغة التالية :

$$ف (B) \propto \alpha (H)$$

والتعبير عن هذه العلاقة بصيغة ، ندخل الثابت μ_0 وقيمه :

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ ث . فل . مب } = 1,256 \times 10^{-6} \text{ ث . فل . مب } . م$$

وتساوى قيمة هذا الثابت « النفاذية المطلقة للجزء المطلق » ويطلق عليها أيضا « ثابت المجال المغنطيسى » .

ومن هذا ينتج أن :

$$ف = \mu_0 \alpha$$

ويعطى الطرف الأيسر من هذه الصيغة الوحدات التالية :

$$\frac{ث . فل . مب}{م} = \frac{ث . فل . مب}{م} \times \frac{مب}{م} = \frac{ث . فل . مب}{م}$$

وهى نفس وحدة الحث المغنطيسى (ف_م) .

(ز) النفاذية النسبية :

ويطلق أيضا على النفاذية μ التى كانت تسمى بالموصلية المغنطيسية « النفاذية المطلقة » .

ويعبر عادة عن نفاذية مادة كضاعف للنفاذية المطلقة للجزء المطلق μ_0 ، وعليه فإن :

$$\mu = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي}$$

حيث μ_0 نسبي هي النفاذية النسبية ، وهي عدد بدون أبعاد ، فتلا μ نسبي للبرموت

هي ٠,٧٩٦
وعليه فان :

$$\mu = 1,206 \times 10^{-6} \times \frac{\text{قل. ث}}{\text{م. مب}} \times 0,796$$

$$= 0,9998 \times 10^{-6} \times \frac{\text{قل. ث}}{\text{م. مب}}$$

وبين ذلك أن التناسب الطردى لثالث المغنطيسي وشدة المجال المغنطيسي (الشدة المغنطيسية) ،
يمكن التعبير عنه بطريقتين :

$$\text{ف}_\text{م} = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} ، \text{أو} \text{ف}_\text{م} = \mu \times \text{هـ}$$

(ح) تطبيق قانون أوم على دائرة مغنطيسية :

من تعريف مفهوم النفاذية ، والحث المغنطيسي ، والفيض المغنطيسي ، والشدة المغنطيسية ،
يمكن استخلاص علاقة تشابه قانون أوم في دائرة التيار المستمر .
نعرف أن :

$$\Phi = \text{ف}_\text{م} \times \text{ج} \text{ أيضا}$$

حيث $\text{ج} =$ المساحة التي تمر بها خطوط الفيض .

$$\Phi = \mu_0 \times \mu \text{ نسبي} \times \text{هـ} \times \text{ج}$$

$$\mu \times \text{هـ} \times \text{ج} =$$

ويمكن أيضا كتابة ذلك كما يلي :

$$\Phi = \mu \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} \times \text{ج} \text{ وتحلل إلى}$$

$$= \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} : \frac{1}{\mu} \times \frac{1}{\text{ج}} \text{ وترتب بالصيغة التالية :}$$

$$\frac{\frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}}}{\text{ج} \times \mu} =$$

ويطلق على العلاقة $\frac{\text{ل}}{\text{ج} \times \mu}$ المقاومة المغنطيسية (م) :

$$\frac{\text{ل}}{\text{ج} \times \mu} = \text{م} \text{ عليه فان :}$$

ويمكن أن نعتبر أن $\mu = \frac{L}{I \times \frac{1}{\mu}}$ كما هو الحال في قانون المقاومة .

ويطلق على العلاقة : (ت × ن) « القوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية » أو « الجهد المغناطيسي » .
ويرمز للقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية بالرمز Θ (ثيتا) ، وعليه ينتج أن :

$$\frac{\Theta}{I} = \mu$$

وبالمناظرة مع قانون أوم في دائرة التيار المستمر نجد :

$$\frac{E}{I} = R$$

والقوة الدافعة المغناطيسية الابتدائية أهمية عملية في تصنيع المكونات الكهربائية ، حيث نحصل على المجالات المغناطيسية من ملفات يكون عدد لفاتها هو العامل الأساسي المعول عليه .
ووحدة القوة الدافعة المغناطيسية هي « الأمبير » . وفي بعض الأحيان تستعمل « أمبير لفة » كوحدة القوة الدافعة المغناطيسية . ولا يمكن أن يستعمل التعبير « أمبير لفة » رياضيا في مجموعة الوحدات المستخدمة هنا .

٥/٩ - الملفات الحاملة للتيار بقلب حديدي :

(١) المواد المغناطيسية الحديدية :

عند مناقشة الكميات اللازمة لتحديد المجال المغناطيسي ، شرحنا الموصلية المغناطيسية المسماة « نفاذية » . وفي هذا الشأن شرحنا العلاقة $F = \mu H$. وللاستطرد في شرح المغناطيسية ، يجب أولا أن نعطي بعض التفاصيل للمواد الدايما مغناطيسية والبارا مغناطيسية . وتكون قيمة μ لعدد من المواد الدايما مغناطيسية والبارا مغناطيسية مساوية تقريبا للواحد الصحيح . وعلى أي الأحوال ، هناك مجموعة للمواد البارا مغناطيسية ، تزيد قيمة μ فيها على واحد صحيح ($\mu < 1$) بدرجة يمكن أخذها في الاعتبار في نطاق مدى معين لدرجة الحرارة . ويطلق على هذه المواد « مواد مغناطيسية حديدية » وتشمل الحديد والنيكل والكوبلت وسبائكها ، وسبائك الكروم والمنجنيز .
وتتميز المواد المغناطيسية الحديدية عن المواد الأخرى بأن نفاذيتها تعتمد على قيمة الشدة المغناطيسية H . وهذا يعنى أن نفاذية المواد المغناطيسية الحديدية تعتمد بدرجة ما على قيمة H خلال نطاق معين لهذه القيمة . ويعنى ذلك بالتالى أنه باستخدام المواد المغناطيسية الحديدية كوسط في المجال المغناطيسي ، فإن الحث المغناطيسي (F_m) سيزداد مقابل زيادة طفيفة في شدة المجال المغناطيسي (H) . وذلك بمعدل أعلى - اعتباريا - من المعدل الذى نحصل عليه في الهواء كوسط .

(ب) التغمط ، والتشبع :

لتحديد قيمة الحث المغناطيسي لمجال مغناطيسي نتيجة لتأثير مغناطيسية حديدية ، تغمط هذه المادة مبدئين بشدة مجال H = صفر . ونرسم القيم F_m التي نحصل عليها مقابل (H) .

ينتج منحنى مميز للمادة المغناطيسية الحديدية المستعملة . ونحصل على القيم المختلفة (هـ)
 عمليا بزيادة شدة التيار (ت) باستمرار ، بينما يبقى عدد اللفات (ن) والطول (ل) ثابتين ،
 للملف المستخدم في التجربة .

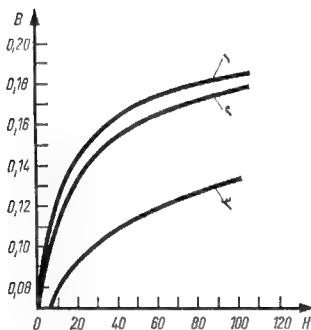
ويبين الشكل (١٢٠) منحنى التغمط لمادة مغناطيسية حديدية . وللمقارنة نرسم قيم الحث
 المغناطيسي التي نحصل عليها في حالة استخدام الهواء كوسط .

وإذا وصلنا إلى قيمة معينة لشدة المجال المغناطيسي ، بعدها لا تزيد قيمة الحث المغناطيسي
 بزيادة شدة المجال ، وقد تكون الزيادة غير ملحوظة باستخدام مادة مغناطيسية حديدية كوسط .
 ومن هذه النقطة يبقى المنحنى ثابتا ، ويوضح هذا تشبع المغناطيس أو حد التشبع .

ويوضح الشكل (١٢١) منحنيات التغمط لبضع مواد مغناطيسية حديدية مستخدمة في

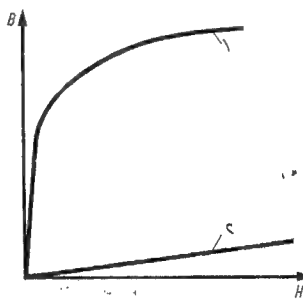
الهندسة الكهربائية . ويعبر عن B بالوحدة $\frac{\text{ويبر}}{\text{متر مربع}}$ ، H بالوحدة $\frac{\text{أمبير}}{\text{متر}}$ ، μ بالوحدة $\frac{\text{مب}}{\text{سم}}$

ويطلق على هذه المنحنيات في حالة المواد التي لم يسبق تغمطها « منحنيات بكر » أو « منحنيات
 أولية » ويوضح ذلك فيما بعد :



شكل ١٢١ : منحنيات تغمط :

- ١ - شريحة دينامو .
- ٢ - غلاف صلب .
- ٣ - حديد زهر .



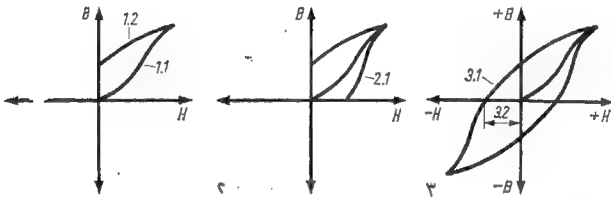
شكل ١٢٠ : منحنى التغمط لمادة مغناطيسية حديدية :

- ١ - منحنى لمادة مغناطيسية حديدية .
- ٢ - المنحنى الذي نحصل عليه باستخدام الهواء كوسط .

(ج) التخلفية :

يوضح الشكل (١٢٢ - ١) طريقة التجربة التالية : تقطع عملية التمهيط عند أى قيمة مناسبة للمنحنى الأول (١ ، ١) - وتخفض قيمة شدة المجال المغنطيسى (هـ) باستمرار بخفض قيمة شدة التيار (ت) وتقاس قيم F_m فى كل حالة ، ونرسم القيم التى نحصل عليها مقابل قيم (هـ) على منحنى بياني . يأخذ المنحنى مسارا آخر (١ ، ٢) ، أى تساوى الشدة المغنطيسية (هـ) صفرا ، عندما يكون الحث المغنطيسى F_m أعلى من الصفر .

وباستمرار عملية التمهيط ، نحصل على منحنى التمهيط (١ ، ٢) فى الشكل (١٢٢ - ٢) وهذا المنحنى يحدد أيضا عن المنحنى الأول .



شكل ١٢٢ : تطور أنشودة التخلفية :

- ١-١ - منحنى أول .
- ٢-١ - منحنى بعد التمهيط العكسى .
- ١-٢ - منحنى بعد التمهيط مرة ثانية .
- ٢-٢ - أنشودة التخلفية .
- ١-٣ - إستباقائية .
- ٢-٣ - قوة قهرية .

وبعكس اتجاه التيار تبدأ عملية الرجوع للمغنط ، وتسمى « تمغنط عكسى » ، ونحصل على منحنى يطلق عليه أنشودة التخلفية . ويسمى تصرف المادة الذى يوضحه منحنى العلاقة (ف - هـ) « التخلفية » ، حيث لا ينطبق المنحنى الناشئ عن تخفيض (هـ) على ذلك الذى ينشأ بزيادتها ، ويعنى هذا المصطلح « يتخلف عن » . ونجد فى الجزء (١ ، ٣) للمنحنى فى الشكل (١٢٢ - ٣) ، أن قيمة الحث المغنطيسى (F_m) لا تصل إلى الصفر ، إلا إذا وصلت قيمة الشدة المغنطيسية (هـ) إلى قيمة معينة فى عكس الاتجاه . ويسمى هذا الجزء من الحث المغنطيسى « المغنطيسية المتبقية » أو « الاستباقائية » . (الفصل التاسع - البند الأول) ، ويطلق على الشدة المغنطيسية (هـ) اللازمة لإزالة الاستباقائية « القوة القهرية » .

ويميز فى الهندسة الكهربائية بين المواد الصلدة والمواد الطرية مغنطيسيا . ويلزم للمواد الصلدة مغنطيسيا قوة قهرية أكبر لإزالة الاستباقائية ، بينما تحتاج المواد الطرية مغنطيسيا إلى قوة قهرية

أصفر . وتبعا لذلك تكون أنشطة التخلفية للمواد المغنطيسية الصلدة ، أوسع اعتباريا من تلك الخاصة بالمواد المغنطيسية الطرية .

(د) المغنطيسات الكهربائية :

تستخدم ملفات لها قلوب من مواد مغنطيسية حديدية كمغنطيسات كهربائية ، على هيئة مغنطيسات رفع ، كما في المغنطيسات المستعملة في المرحلات والملاسمات والقوابض المغنطيسية والصمامات المغنطيسية ، وهذا على سبيل المثال لا الحصر . ويصعب تحديد القوة الناتجة عن المغنطيس بدقة كافية .

وعموما ، تستخدم في الحياة العملية طرق حسابية تعطى قيما تقريبية ، ولكنها تضمن النتائج المرضية للغرض المطلوب . وفيما يلي مثالان :

مثال ١ :

مطلوب إيجاد القوة المغنطيسية اللازمة للوحة تثبيت المشغولات في مكينة تشغيل . أبعاد

اللوحة هي 200×300 مم . والحث المغنطيسي للمغنطيس الكهربائي المستخدم هو $0,18$. وب

$$\frac{وب}{م}$$

ما هي القوة المسلطة على الشغلة ؟

لتحديد هذه القوة لأقرب قيمة ، تستعمل الصيغة :

$$ق = \frac{ف^2 \times ج}{0,25}$$

حيث ج هي المساحة بالسـم^٢

$$٣ \quad \text{معطيات : } ف = 0,18 \quad \text{وب} = \frac{٧}{م}$$

ج = الطول \times العرض

$$٢ \quad ٦٠٠ = ٣٠٠ \times ٢٠٠ = سم$$

المطلوب : ق بالكيلو بوند (كـب)

الحل :

$$ق = \frac{٦٠٠ \times (0,18)^2}{0,25}$$

$$ف = ٧٨ \text{ كيلو بوند}$$

مثال ٢ : القوة الفعالة على الشغلة قدرها حوالي ٧٨ كيلو بوند

وتجذب أعضاء الإنتاج إلى المرحلات المستخدمة في هندسة المواصلات عند ١٠٠ ت × ن
(أمبير لفة) عندما تحمل هذه المرحلات بتلامس تشغيل . إذا كان المطلوب جذب هذا المرحل
عند جهد ج = ٢٤ فلت ومقاومة م = ١٠٠٠ Ω ، يمكن حساب عدد اللفات لهذا المرحل
بالكيفية التالية :

$$ت = \frac{ج}{م} ، ت = \frac{٢٤ \text{ فلت}}{\Omega \text{ } ١٠٠٠} ، ت = ٠,٢٤ \text{ أمبير}$$

من ذلك يمكن حساب عدد اللفات من

$$ن = \frac{١٠٠ \text{ أمبير لفة}}{٠,٢٤ \text{ أمبير}} ، ن = ٤١٦٧ \text{ لفة}$$

ويجب إيجاد قيمة طول السلك طبقا لمقاس وشكل الملف ، مع أخذ المقاومة م = ١٠٠٠ Ω
في الاعتبار .

ويمكن بعد ذلك إيجاد قيمة مقطع السلك .

الفصل العاشر

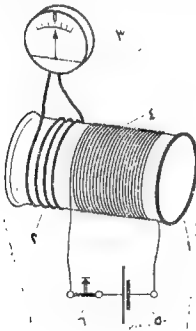
الحث المغنطيسي الكهربائي

١٠/١ - اختبار فاراداي :

أدت أبحاث فاراداي (١٧٩١ - ١٨٦٧) إلى الاستخدام العالمي الواسع النطاق للكهرباء كطاقة نافعة للغاية يمكن توزيعها وتحويلها إلى أشكال أخرى منها بطرق بسيطة نسبيا دون أي فقد في الزمن عمليا .

بنى فاراداي دراساته لظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي ، على أساس أنه بالنسبة للشحنات الكهربائية المتحركة ، يمكن الحصول على ظاهرة مناظرة لظاهرة الحث الإستاتيكي ، حيث أمكن فصل الشحنات الكهربائية الإستاتيكية بعضها عن بعض ، وذلك بتقريب جسم مشحون إلى آخر غير مشحون .

يبين الشكل (١٢٣) الاختبار الذي أجراه فاراداي . تلف لفيفتان منفصلتان كهربائيا ، جنباً إلى جنب على اسطوانة مجوفة من ورق الكرتون . تتكون إحدى هاتين اللفيفتين من بضع لفات من سلك سميك ، يوصل طرفاه بجهاز قياس مزود بمؤشر يسمح له بالانحراف على تدريج تجاه أي جانب من جوانبه . وتتكون اللفيفة الثانية من عدة لفات من سلك رفيع يكون جزءاً من دائرة كهربائية تشتمل على مصدر للجهد ، ومفتاح كهربائي بذراع .



شكل ١٢٣ :

- ١ - اسطوانة مجوفة .
- ٢ - ملف عليه عدد من لفات .
- ٣ - جهاز قياس .
- ٤ - ملف عليه عدد كبير من لفات .
- ٥ - مصدر للجهد .
- ٦ - مفتاح كهربائي بذراع (قاطع) .

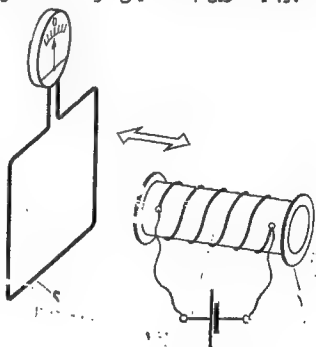
وهذا الشكل ، تشتمل ترتيبية الاختبار هذه على دائرتين ، تحمل إحداها تيارا يمر بصفة مستمرة فيها ، بينما لا تحمل الأخرى تيارا . فعند فصل الدائرة الكهربائية بتشغيل المفتاح الكهربائي ، ينحرف مؤشر جهاز القياس ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وعند قفل الدائرة الكهربائية ينحرف مؤشر جهاز القياس في الاتجاه عكسي لاتجاه انحرافه في الحالة الأولى ، ثم يعود مرة ثانية إلى وضع الصفر . وتعرف هذه الظاهرة كما يلي :

عند فصل أو قفل دائرة كهربائية ، يمر تيار كهربائي لوقت قصير ، خلال دائرة كهربائية مغلقة موضوعة بجوار الدائرة الكهربائية الأولى ، ويسمى هذا التيار « التيار المنتج بالحث » .

١٠ | ٢ - أشكال الحث المغنطيسي الكهربائي :

يبين الاختبار التالي ، المبين بالشكل (١٢٤) دراسة أكثر عمقا لحث المغنطيسي الكهربائي . فإذا عدلت ترتيبية الاختبار المبينة بالشكل (١٢٣) ، بحيث يوصل الملف مباشرة بمصدر الجهد (بإخراج المفتاح الكهربائي من الدائرة الكهربائية) ، مع ترتيب كلا الملفين بحيث يكونان قابلين للحركة ، يمكن ملاحظة الظاهرة التالية : عند تقريب ملف للآخر (يمكن تحريك أى من الملفين) ، ينحرف مؤشر جهاز القياس . وعند إبعاد الملفين عن بعضهما البعض ، ينحرف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكسي لانحرافه في الحالة الأولى ، وهذا يبين أنه ليس هناك حاجة إلى فصل أو قفل دائرة كهربائية لإنتاج تيار بالحث في دائرة كهربائية أخرى .

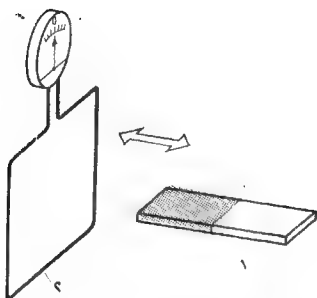
ولذلك تعرضت هذه الظاهرة لدراسات أكثر عمقا ، تستهدف بحث سبب حدوث نفس التأثير كما هو الحال في الاختبار الأول ، وذلك بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما البعض . وقطع الدائرة الكهربائية ليس هو السبب الوحيد لإنتاج تيار بالحث ، وإنما يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تكوين مجال مغنطيسي حول الملف الحامل للتيار الكهربائي يؤدي إلى إنتاج تيار بالحث .



شكل ١٢٤ : الحث المغنطيسي الكهربائي في الملفات القابلة للحركة .

١ - ملف بمصدر للجهد (ملف ابتدائي) .

٢ - ملف بجهاز قياس (ملف ثانوي) .



شكل ١٢٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي
الناتج بواسطة قضيب مغنطيسي
١ - قضيب مغنطيسي .
٢ - ملف بجهاز قياس .

وفي الاختبار الأول ، يصاحب قطع الدائرة الكهربائية تلاشي المجال المغنطيسي ، بينما يصاحب قفل الدائرة الكهربائية تكوين المجال المغنطيسي . وفي هذا التفسير الأخير ، يؤثر قفل وفصل الدائرة الكهربائية في تغيير الفيض المغنطيسي من قيمة الصفر إلى قيمة الذروة ، ثم رجوعا إلى قيمة الصفر . يمكن تفسير الحث المغنطيسي الكهربائي الناتج في الاختبار الثاني على هذه الأسس . فنتيجة لحركة الملفات تجاه بعضها البعض ، وبعيدا عن بعضها البعض ، يتغير الفيض المغنطيسي بحيث تمر خطوط فيض أكثر عبر الملف الثانوي (الملف الموصل بجهاز القياس) في الوهلة الأولى ، بينما تمر خطوط فيض أقل في الوهلة الثانية .

وعلى أساس هذه الاعتبارات ، أجريت أبحاث لمعرفة ما إذا كان تغير الفيض المغنطيسي لمغنطيس على هيئة قضيب ، يمكن أن يحدث نفس التأثير في الملف التأثيري ، الشكل (١٢٥) . وفي الحقيقة ، تنتج الحركة النسبية بين قضيب المغنطيس والملف تيارا بالحث في هذا الملف .

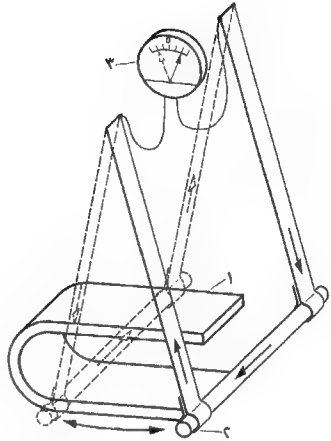
٣/١٠ - قواعد وقوانين الحث المغنطيسي الكهربائي :

شرحنا فيما سبق ظاهرة الحث المغنطيسي الكهربائي . وفيما يلي نتناول بعض العلاقات المتبادلة بين التأثيرات المغنطيسية والكهربائية والميكانيكية للحث المغنطيسي الكهربائي .

(١) اتجاه التيار المنتج بالحث في الموصلات والملفات :

يبين الشكل (١٢٦) مثالا لترتيبة اختبار مشابهة لترتيبات الاختبار المبينة في الشكل (١١٣) والشكل (١١٧) ، فيما عدا أن تلك الترتيبة موصل بها جهاز قياس ينحرف مؤشره تجاه أي جانب من جانبي التدريج ، وذلك بدلا من مصدر الجهد .

يتبين من الشكل (١٢٦) ، أن اتجاه التيار المنتج بالحث يتغير ، ممتدداً على وضع الموصل بالنسبة لمجال حدوة الحصان المغنطيسي . فعند تحريك الموصل إلى داخل فتحة حدوة الحصان المغنطيسي ،



شكل ١٢٦ : موصلات اختبار لاتجاه التيار
المنتج بالحث .
١ - مغنطيس على شكل حدوة حصان .
٢ - موصل قابل للحركة .
٣ - جهاز قياس .

يكون انحراف مؤشر جهاز القياس في اتجاه عكس اتجاهه عند سحب الموصل إلى خارج فتحة حدوة الحصان المغنطيسي . ويتضح من ذلك وجود علاقة بين اتجاه خطوط فيض المجال المغنطيسي ، واتجاه حركة الموصل (أو حركة المغنطيس) ، واتجاه التيار المنتج بالحث . ويمكن التعبير عن هذه العلاقة كما يلي :

عند اختراق خطوط الفيض لراحة اليد اليمنى ، تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار المنتج بالحث ، بينما يبين إصبع الإبهام الممتد اتجاه الحركة ، الشكل (١٢٧) .

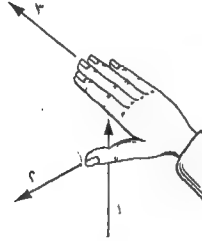
ويمكن بكيفية مشابهة تحديد اتجاه التيار المنتج بالحث في الملفات لهذا الغرض (انظر الشكل ١٢٥) ، وبأخذ حالة حركة قضيب مغنطيسي كثال مبسط ، نجد أنه بتحريك قضيب المغنطيس تجاه الملف ، يكون اتجاه التيار المنتج في الملف ، عكس اتجاه التيار عند سحب قضيب المغنطيس بعيداً عن الملف .

من هذا يستنتج ما يسمى بقاعدة عقرب الساعة (الشكل ١٢٨) :

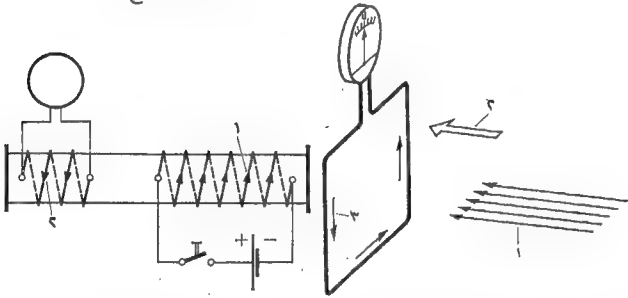
عند النظر إلى فتحة الملف في اتجاه خطوط الفيض ، يكون سريان التيار المنتج بالحث في اتجاه عكس عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أكثر على الملف ، بينما يكون سريانه في اتجاه عقارب الساعة إذا أثرت خطوط فيض أقل على الملف .

ويمكن أيضاً إيجاد التيار المنتج بالحث في دائرة كهربائية ابتدائية ، عند قفلها أو فصلها ، الشكل (١٢٣) .

وعند الأخذ في الاعتبار قطبية ملف (سبق تعيينها بالطريقة المبينة بالشكل ١٠٠) ، فإنه يمكن إيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث بسهولة ، حيث أن قفل الدائرة الكهربائية يصاحبه زيادة في التيار ، ثم ازدياد في شدة الفيض المغنطيسي . وفي هذه الحالة يكون اتجاه التيار المنتج بالحث عكس اتجاه التيار الابتدائي .



شكل ١٢٧ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة اليد اليمنى لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
 ١ - اتجاه خطوط المجال .
 ٢ - اتجاه حركة الموصل .
 ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .



شكل ١٢٨ : هذا التوضيح يساعد في تبين قاعدة مقارب الساعة لإيجاد اتجاه التيار المنتج بالحث
 ١ - اتجاه خطوط المجال .
 ٢ - اتجاه الحركة .
 ٣ - اتجاه التيار المنتج بالحث .

(ب) الحث المغنطيسي الكهربائي من الوجهة التنشيطية :
 عند مناقشة تأثيرات التيار الكهربائي (انظر القسم الأول ، الفصل الأول) ، أعطينا بعض الملاحظات على نظرية بقاء الطاقة . وهنا نود أن نشير إلى العلاقة بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة . ولتبين هذه العلاقة تعطى الأمثلة التالية :

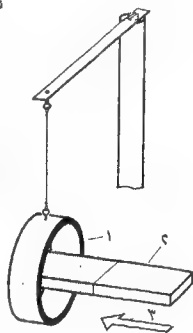
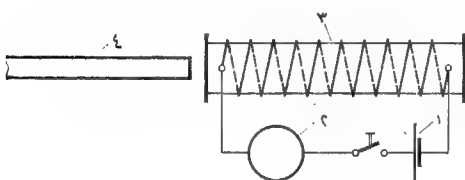
عند تعليق حلقة مقفلة من موصل (مصنوعة من سلك نحاس) ، بحيث تكون حرة الحركة ، ينتج فيها تيار بالحث إذا تحرك قضيب مغنطيسي بطريقة مناسبة للحلقة . وللظاهرة الآتية اهتمام خاص : عند تحريك قضيب المغنطيس إلى داخل حلقة الموصل ، تتحرك أيضاً الحلقة في اتجاه حركة قضيب المغنطيس ، وعند سحب قضيب المغنطيس من داخل الحلقة ، تتبع الحلقة أيضاً حركة قضيب المغنطيس (الشكل ١٣٠) .

ويتضح من هذا أن مثل هذا المجال المغنطيسي ، المميز باتجاه التيار المنتج بالحث ، والذي يضاعف التغير في الفيض المغنطيسي ، المميز بحركة قضيب المغنطيس ، ينتج في نطاق حلقة الموصل .

ويمكن افتراض أن الحركة المتتالية لحلقة الموصل تكتب حركة قضيب المغنطيس (عندما تتحرك الحلقة وقضيب المغنطيس في نفس الاتجاه ، يكون معدل حركة المغنطيس بالنسبة للحلقة أقل منها عندما تكون الحلقة مثبتة) . وفي مثل هذه الترتيبية ، إذا ظهر رد الفعل المعكوس على التغير في الفيض المغنطيسي ، أي إذا أدى المجال المغنطيسي للتيار المنتج بالحث إلى تغير في الفيض المغنطيسي لقضيب المغنطيس ، فيمكن توليد أي كمية من الطاقة الكهربائية بواسطة كمية مبدئية صغيرة منها . وهذا لا يتطابق قانون بقاء الطاقة . والشكل (١٣١) يبين ترتيباً اختباراً أخرى تعطى البرهان على صحة قانون بقاء الطاقة ، وفي هذا الاختبار تقاس شدة التيار في وجود الحث المغنطيسي .

شكل ١٣٠ : الحث المغنطيسي الكهربائي وأهدافه التشغيلية

١ - حلقة الموصل . ٢ - قضيب مغنطيسي . ٣ - اتجاه الحركة .



شكل ١٣١ : ترتيبية اختبار تستخدم للتحقق من صحة قانون بقاء الطاقة

١ - مصدر للجهد . ٢ - أميتر . ٣ - ملف . ٤ - قضيب مغنطيسي .

يوضع قضيب مغنطيس أمام ملف ، بحيث يسحب المغنطيس إلى داخل الملف وذلك بتأثير القطب المواجه للملف ، وبفرض أن المسافة بين الملف وبين القضيب تكون صغيرة بقدر كاف ، تخيل الآتي :

بعد وقت معين يفرغ مصدر الجهد ، ويعتمد هذا التفريغ إلى حد كبير على قيمة مقاومة الملف الذي تتحول فيه الطاقة الكهربائية $\times \times \times$ م ز إلى حرارة . وعند تقريب المغنطيس للملف ، فإنه يصل إلى مسافة يجذب منها ، ويسحب إلى داخل الملف . ومن المؤكد تماماً في هذه الحالة ، أن هناك شغلا قد بذل مع التجاذب . فأين بذل هذا الشغل ؟ في الطبيعة وفي المفهوم المادي ، لا يبذل الشغل دون مكافئ* . ومن هذا ينتج أنه في اللحظة التي يسحب فيها المغنطيس إلى داخل الملف ، تنخفض الكمية الإجمالية للطاقة المحولة إلى حرارة بما يساوي هذا الشغل ، ويجب ملاحظة أن مقاومة الملف م ، تبقى ثابتة بحيث يمكن تغيير شدة التيار فقط . وعليه ، فيفترض أنه عند لحظة التجاذب ، تنخفض شدة التيار المار عبر الملف ، لكي تتحول كمية أقل من الطاقة إلى حرارة . وفي الواقع ، ينتج المغنطيس جهداً بالحث في الملف أثناء محبه إلى داخله ، ويضاد التيار المنتج بالحث ، التيار الابتدائي في الملف مسبباً كبتة ، وبالتالي تخفضه ، وذلك نتيجة لمكس اتجاه السريان . ويمكن التأكد من ذلك بقراءة الأميتر في اللحظة التي يجذب فيها الملف المغنطيس .

ولقد درس عالم الطبيعيات الروسي لينز Lenz (١٨٠٤ - ١٨٦٥) العلاقات بين الحث المغنطيسي الكهربائي وبقاء الطاقة : ويمكن تعريف هذه العلاقة كما يلي :

يضاد اتجاه التيار المنتج بالحث دائماً الحركة أو الفيض المغنطيسي المتغير المتولد عنه .

١٠/٤ - العلاقات بين المغنطيسية والكهيات المنتجة بالحث :

من الترتيبة المبينة في الشكل (١٢٦) يمكن استنتاج الآتي :

عند تحريك الموصل في اتجاه خطوط الفيض ، لا ينتج تيار الحث . بينما ينتج أعلى تيار بالحث عندما يميل الموصل زاوية مقدارها ٩٠° مع خطوط الفيض ، ويتحرك في نطاق المجال بهذا الوضع .

وإذا تحرك الموصل بسرعات مختلفة في نطاق المجال المغنطيسي ، يزداد التيار المنتج بالحث بزيادة السرعة .

وبالنسبة لحركة موصل في نطاق مجالين مغنطيسيين مختلفي الشدة ، ينتج بالحث تيار ذو شدة عالية ، عند تحريك الموصل في نطاق المجال المغنطيسي ذي الشدة الأعلى .

عند تعريف فكرة الفلطة أو الجهد الكهربائي (الفصل الثالث) ، ذكرنا أن الفلطة تشبه قوة دفع ، تحرك الإلكترونات . ويطبق هذا بالمثل بالنسبة للحث المغنطيسي الكهربائي ، حيث تزود الإلكترونات الحرة الحركة في الموصل بقوة دافعة تسبب حركتها . ولقد أوجز فاراداي هذه الظاهرة في قانون الحث كما يلي :

تنتج بالحث قدرة دافعة كهربائية ابتدائية في موصل ، بتغير الفيض المغنطيسي المحيط به . وهنا يعطى تعريف أكثر دقة للفيض المغنطيسي المذكور في القسم الأول ، الفصل الرابع وهو :

تكون قيمة شدة الفيض المغنطيسى مساوية وبر واحد ، إذا أنتج بالحث جهداً قيمته فلت واحد
 فى لفيفة حوله ، ويتناقص هذا الجهد بانتظام إلى قيمة الصفر ، وذلك خلال زمن قدره ثانية واحدة ،
 وعندما نرمل للقوة الدافعة الكهربائية الابتدائية المنتجة بالحث بالرمز ج_١ ، يمكن وضع
 العلاقة التالية :

فى فترة صغيرة من الزمن Δz (دلنا ز) ، ينتج التغير $\Delta \Phi$ فى الفيض المغنطيسى المحيط
 بلفيفة ، قوة دافعة كهربائية ج_١ فيها ، وعليه :

$$\frac{\Phi \Delta}{z \Delta} = \text{ج} ١$$

ولعدة لفيفات محاطة بفيض مغنطيسى Φ ، تطبق العلاقة التالية :

$$\text{ج} ١ = \frac{\Phi \Delta}{z \Delta} \times n$$

حيث n هى عدد اللفيفات .

ومن هذا يمكن استنتاج علاقة أخرى تربط بين الحث المغنطيسى ف_م ، وطول الموصل الفعال
 (ل) والسرعة (ع) ، وهى :

$$\frac{\Phi \Delta}{z \Delta} = \text{ف} \text{م} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

يعنى هذا أن القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث تساوى حاصل ضرب الحث المغنطيسى
 وطول الموصل والسرعة التى يتحرك بها الموصل فى المجال المغنطيسى . وعلى هذا ، فن العلاقة
 السابقتين نحصل على العلاقة التالية :

$$\text{ج} ١ = \text{ف} \text{م} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

مثال :

إذا كان الطول الفعال لموصل هوائى لطائرة نفائة هو ٣٠ متر . وكانت الطائرة تتحرك عمودياً
 على خطوط الفيض للمجال المغنطيسى للأرض الذى حثه المغنطيسى ف_م = ٤,١ × ١٠^{-١٠} فولت / م_م ،
 وبسرعة ١,٠٨٠ كيلومتر/ساعة ، فما القوة الدافعة الكهربائية ج_١ المنتجة بالحث فى هذا الهوائى ؟
 (الشكل ١٣٢)

$$\begin{aligned} \text{المعطيات : ف} \text{م} &= ٤,١ \times ١٠^{-١٠} \frac{\text{فولت}}{\text{م}} \\ \text{ل} &= ٣٠ \text{ متر} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ع} &= ١٠٨٠ \text{ كيلومتر/ساعة} \\ \text{ع} &= ٣٠٠ \text{ متر في الثانية} \end{aligned}$$

المطلوب : ج١

الحل :

$$\text{ج١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع}$$

$$= ٤,١ \times ١٠^{-٥} \times ٣٠٠ \times ٣٠٠$$

$$= ٣٦٠ \text{ مل فلط}$$

القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث في الهوائي هي ٣٦٠ مل فلط .

وإذا كان الموصل مكونا من عدة لفات ، تستخدم العلاقة التالية :

$$\text{ج١} = \text{ف} \times \text{ل} \times \text{ع} \times \text{ن}$$

مثال :

لمولد تيار مستمر قطبان مغنطيسيان بطول ٢٥ سم وبعرض ٣٠ سم ، والحث المغنطيسي

للمجال المغنطيسي لمذين القطبين هو ١,٢ $\frac{\text{فل ث}}{\text{م}}$. يعمل في هذا المجال عضو لإنتاج له ١٠٠ لفة

بسرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة . ما القوة الدافعة الكهربائية ج١ المنتجة في هذا المولد ؟

$$\text{المعطيات : ف} = ١,٢ \frac{\text{فل ث}}{\text{م}}$$

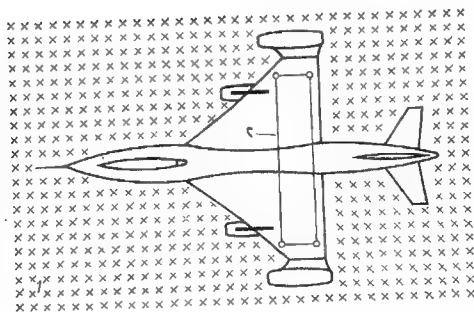
$$\text{ل} = ٢٥ \text{ سم}$$

$$\text{ض} = ٣٠ \text{ سم}$$

$$\text{ع} = ٩٦٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

$$\text{ن} = ١٠٠ \text{ لفة}$$

المطلوب : ج١



شكل ١٣٢
حث لفلطية (ج١)
في هوائي
١ - المجال المغنطيسي
للأرض .
٢ - الطول الفعال
للموصل .

الحل :

عند سرعة ٩٦٠ دورة في الدقيقة ، يمر الطول الفعال للموصل وهو ٢٥ سم بين قطبين عرض كل منهما ٣٠ سم وذلك بمعدل ١٦ مرة كل ثانية ، ومن هذا ينتج أن السرعة

$$ع = ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}} \text{ وعلى ذلك ؛}$$

$$ج = ف \times ل \times ع \times ن .$$

$$= ١,٢ \times ٠,٢٥ \times ٢ \times ١٦ \times ٠,٣٠ \times ١٠٠$$

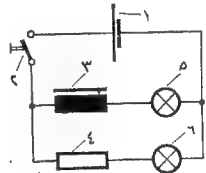
$$= ٢٨٨ \text{ فلت}$$

ينتج بالحث في هذا المولد قوة دافعة كهربائية قيمتها ٢٨٨ فلت .

١٠/٥ - الحث الذاتي :

تبين ترتيبية الاختبار المبينة في الشكل (١٣٣) كيفية تصرف ملف بقلب حديد في دائرة كهربائية ، وذلك عندما يوصل التيار إليها ويفصم عنها . وتكون قيم مقاومة الملف والمقاومة الأومية الموصلة في الدائرة الكهربائية متساوية . فعندما تشغل هذه الترتيبة ، يومض المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع الملف متأخراً بعض الوقت عن المصباح المتوهج الموصل على التوالي مع المقاوم . وطبقاً لقانون لينز ، ينتج تيار بالحث ، يكون اتجاهه عكس اتجاه التيار الموجود عندما تقفل الدائرة الكهربائية (وهذا يعني أيضاً ازدياد شدة المجال المغنطيسي للملف) . وعندما يصل الجهد وشدة التيار إلى قيمة معينة ؛ أي إذا لم يتغير الفيض المغنطيسي مرة ثانية ، يجب هذا الحث . ويسمى الحث المغنطيسي الكهربائي المسبب عن قوة دافعة كهربائية إضافية في الملف ، والتأثير الواقع على هذا الملف « الحث الذاتي » .

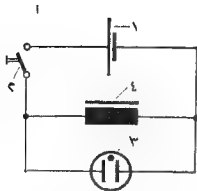
ويمكن ملاحظة الحث الذاتي المسبب عن قوة دافعة كهربائية عندما تفصم دائرة كهربائية ، وذلك بمساعدة ترتيبية كما هو مبين بالشكل (١٣٤) .



شكل ١٣٣

تصرفات ملفات بقلوب حديد في دائرة كهربائية

- ١ - مصدر الجهد .
- ٢ - مفتاح كهربائي .
- ٣ - ملف بقلب حديد .
- ٤ - مقاومة أومية .
- ٥ - مصباح ١
- ٦ - مصباح ٢



شكل ١٣٤ : قصر ف ملفات بقلوب حديد عندما تقطع الدائرة الكهربائية .

- ١ - مصدر للجهد (حوالي ٢ فلت) .
- ٢ - مفتاح كهربائي .
- ٣ - مصباح كهربائي مقن جهده ج = ١١٠ فلت .
- ٤ - ملف بقلب حديد (حوالي ١٥٠٠ لفه)

فمنما تشغل هذه الترتيبة ، لا يمكن ملاحظة أى شىء من الخارج . وإنما يمكن فقط إثبات سريان تيار كهربائي في هذه الدائرة الكهربائية . ولهذا الغرض يمكن استخدام أميتر أو إبرة مغناطيسية . فند فصل هذه الدائرة الكهربائية ، يومض المصباح المتوهج للحظة ، وهذا يبنى أن الجهد قد وصل إلى قيمة قدرها ٥٠ مرة أعلى من قيمة الجهد المقن . ويمكن شرح هذه الظاهرة كما يلي :

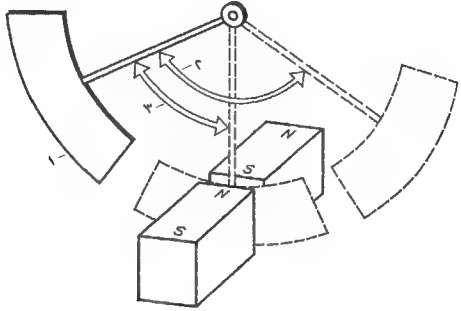
عند فصل الدائرة الكهربائية ، يبطل مفعول المجال المغناطيسى للملف ، وعند الأخذ في الاعتبار التيار المتنج بالحث الذاتى ، نجد أن القوة الدافعة الكهربائية المسببة له ، تمارس تغيراً في الاتجاه الذى أصبح عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية السابقة الناتجة بالحث ، وعليه يكون له الاتجاه نفسه كاتجاه التيار الموجود .

وعادة ، تسمى الملفات بقلوب حديد ، أى الملفات التى لها محاطة ، « ملفات الحثاة » . ولتصرف هذه الملفات أهمية في دوائر التيار المتردد ذات التردد العالى والمنخفض ، وسيناقش ذلك فيما بعد .

١٠/٦ - الحث المغناطيسى الكهربائى في الموصلات المفلطحة :

فما سبق تناولنا بالبحث الحث المغناطيسى الكهربائى في الملفات والأسلاك المستقيمة . ولتصرف الموصلات المفلطحة بالنسبة للحث المغناطيسى الكهربائى أهمية لا تقل عن أهمية تصرف الموصلات والأسلاك المستقيمة بالنسبة للهندسة الكهربائية . ومن الشكل (١٣٠) ، نستخلص أن التيارات ذات الشدة العالية نسبياً تنتج بالحث في حلقات موصلات مقفلة (ويمكن الاستدلال على ذلك من حركة حلقة السلك التى تتبع حركة قضيب المغناطيس) . وبين الشكل (١٣٥) مثالا لاختبار يعطى معلومات تتعلق بتصرف التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة . يعلق قطاع من الألومنيوم (يمكن أيضاً استخدام معدن آخر غير الألومنيوم) ، بحيث يسمح له بالتأرجح . وحركة البندول هذه التى يحدها قطاع الألومنيوم المعلق ، تتبع قوانين التذبذبات التوافقية . فإذا تأرجح هذا البندول (قطاع الألومنيوم) خلال مجال مغناطيسى ، فسرعان ما يصل إلى حالة السكون ، ويتوقف ذلك على شدة هذا المجال .

وسبب توقف التذبذبات سريعاً عندما يدخل البندول المجال المغنطيسي ، هو ظهور تيارات منتجة بالحث ، تكون مجالاتها المغنطيسية موجهة بطريقة تعوق هذه الحركة ، وعلى ذلك فهي تتبع قانون لينز .



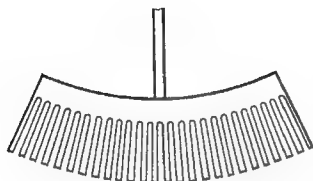
- شكل ١٣٥ : الحث المغنطيسي الكهربائي في ألواح الموصل .
- ١ - بندول من الألومنيوم .
 - ٢ - تذبذبات في الهواء الطلق
 - ٣ - تذبذبات خلال مجال مغنطيسي .

يبين الشكل (١٣٦) مثالا لتوزيع مسارات التيار في الموصل المفلطح ، ومن الواضح أن هذه المسارات تكون مغلقة . وتسمى التيارات المنتجة بالحث في الموصلات المفلطحة « التيارات الدوامية » .

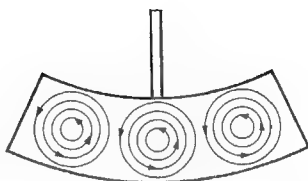
وحيث أن التيارات مسارات مغلقة فإن هذه التيارات تولد كمية لا بأس بها من الحرارة في الموصل . وفي حالات كثيرة ، تكون هذه الحرارة غير مرغوب فيها في المكونات والأجهزة الكهربائية . والشكل (١٣٧) يبين كيفية تجنب هذه التيارات الدوامية في الموصلات المفلطحة ، وذلك بتزويد الموصلات بمثقبيات ضيقة .

وعندما يسمح لمثل هذا الموصل المثقوب بالتأرجح خلال مجال مغنطيسي ، يتوقف الموصل بعد فترة . ويكون تأثير الفرملة ، وبالتالي تكون التيارات الدوامية ، قد منعت بدرجة كبيرة .

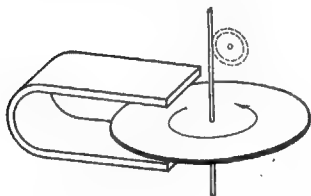
على أنه يمكن أيضاً كبح التيارات الدوامية بطريقة أخرى ، بدلا من استخدام موصل مفلطح ذي سمك معين فيمكن وضع عدة موصلات رقيقة معزولة فوق بعضها البعض لتكون موصلات بالسمك المعين المطلوب .



شكل ١٣٧ : لوح موصل مشقوب



شكل ١٣٦ : ممر تيار في ألواح الموصل



شكل ١٣٨ : مضادة تيار دوامى
تستخدم في عداد كهربائى

تلمب هاتان الإمكانيتان لمضادة التيارات الدوامية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية .
ففي المسكنات الثابتة والدوارة ، تعمل أكوام من رقائق الدينامو خصيصاً للقلوب . « ورقيقة الدينامو »
التي تعرف أيضاً « كرقيقة قلب » ، هي عبارة عن معدن مغنطيسى طرى ، يمزل من جانب واحد ،
بطرق كيميائية كهربائية (وأحياناً بتطيينها بالورق) .

وفي الهندسة الكهربائية ، تستخدم التيارات الدوامية للمضادة ، خصوصاً في تقنيات
الاختبار والقياس ، وتختبر عادة مقدرة المحركات الكهربائية على بدء الحركة بواسطة فرامل
التيار الدوامى ، وبين الشكل (١٣٨) ترتيب مضادة تيار دوامى تستخدم في عداد كهربائى .

الفصل الحادى عشر

تأثيرات المجالات الكهربائية

١/١١ - المجالات المتدفقة المتجانسة وغير المتجانسة :

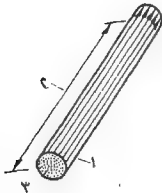
فيما يتعلق بأبحاث الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، ذكرنا أنها تلتصق بالأسطح ، وهي قادرة على الشحن بالحث . وللاستطراد فى شرحنا ، نفترض وجود ظاهرة تصاحب الشحنات الكهربائية المتحركة والتيار الكهربائى تشبه الظاهرة التى تصاحب المجالات المغنطيسية . وهناك تمييز بين المجالات الكهربائية فى الموصلات وفى غير الموصلات .

المجال المتدفق المتجانس فى موصل :

يقال عن التيار الكهربائى ، أنه حركة إلكترونات فى اتجاه مفضل . ويمكن أن يكون الحيز الذى تحدث فيه هذه الحركة ، قطعة من السلك ، كما هو مبين بالشكل (١٣٩) . وعادة يسمى الحيز الذى يحدث فى نطاقه ظاهرة كهربائية « المجال الكهربائى » . وعندما تحدث ظاهرة كهربائية فى موصل حامل للتيار ، فإننا نتكلم ، فى هذه الحالة ، عن مجال كهربائى متدفق . وتبين الممرات التى تتخذها الإلكترونات ، الخطوط الكهربائية للقوة ، والتى عبر عنها فى الشكل ، بخطوط متقطعة ، لتمييزها عن الخطوط المغنطيسية للفيض .

فإذا كان الموصل من النوع المستقيم ، ومساحة مقطعه المستعرض منتظمة ، تكون الخطوط الكهربائية للقوة متوازية متواضعا بعضها مع بعض . ويمكن تعيين قيمة جهد ج ، مسلط على هذا الموصل ، لأى مقطع طولى ل منه . وتسمى النسبة بين الجهد المسلط وبين طول الموصل « الشدة الكهربائية » ش ، وعليه فإن :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$



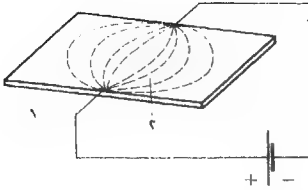
شكل ١٣٩ : مجال كهربائى متجانس متدفق فى موصل

من الطراز المستقيم .

١ - موصل .

٢ - طول من الموصل .

٣ خطوط المجال الكهربائى .



شكل ١٤٠

شكل المجال في موصل من الطراز اللوح

- ١ - موصل من الطراز اللوح .
- ٢ - مجال غير متجانس متدفق .

المجال المتدفق غير المتجانس في موصل :

عندما يسرى تيار كهربائي خلال موصل من نوع اللوح ، فإن مسارات الممرات التي تتخذها الإلكترونات ، وبالتالي مسار خطوط القوة ، تكون غير مستقيمة تماماً ، وإنما تشبه تقريباً التشكيل المبين في الشكل (١٤٠) :

يوصل اللوح الموصل ، وهو لوح معدني في هذه الحالة ، بدائرة كهربائية . وبالنسبة للمسار الذي تتخذه خطوط القوة ، يمكن النص على ما يلي :

تمتد الخطوط الكهربائية للقوة من القطب الموجب إلى القطب السالب .

وتميل خطوط القوة السير كل على حدة في المجال غير المتجانس ، وهذه الحقيقة يمكن وصفها كما يلي :

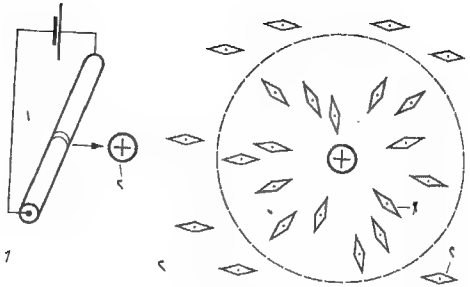
تبذل قوة شد في اتجاه خطوط القوة ، بينما تبذل قوة ضغط عمودية على خطوط القوة .

٢/١١ - المجالات الكهربائية في غير الموصلات :

يمكن تتبع المجالات الكهربائية المتدفقة في الموصلات ، بسهولة ، وذلك بواسطة جهاز بيان كهربائي . وعلى كل ، فإنه من المفيد إيجاد ما إذا كان ما يحيط بالموصل الحامل للتيار يمارس أفعال قوة مشابهة لتلك التي تصاحب الشحنات الكهربائية الاستاتيكية ، والتي يمكن استبيانها بواسطة الإلكتروليسكوب (المكشاف الكهربائي) . ويجب إبعاد أطراف توصيل الإلكتروليسكوب عن بعضهما البعض خلال شحنته ، لتجنب فعل القوة .

(١) تعريف المجال الكهربائي في غير الموصل :

يبين الشكل (١٤١ - ١) مثالا لمقطع مستدير من موصل مستقيم ، يفترض قطعه من دائرة كهربائية . وعندما ترتب قصاصات صغيرة من الورق حول هذا المقطع ، بحيث تكون حرة الحركة ، فإنها تتجه تجاه الموصل في حدود مسافة معينة ف من مقطع الموصل (الشكل ١٤١ - ٢) .



شكل ١٤١ : تمثيل مجال كهربائي في غير موصل

(٢)

(١)

- ١ - قصاصات من الورق ينضبط اتجاهها بواسطة خطوط القوة .
- ٢ - مقطع مستدير من الموصل .
- ٣ - قصاصات من الورق خارج نطاق تأثير المجال الكهربائي .

وتتجه قطع الورق الصغيرة التي لم تتجه في بادئ الأمر في هذا الاتجاه المفضل ، تجاه الموصل عندما يسمح بمرور تيار كهربائي فيه . وتكون قصاصات الورق التي لا تتجه في هذا الاتجاه ، خارجة عن نطاق تأثير القوة التي ييذلها المجال الكهربائي حول الموصل الحامل للتيار .

وبرسم خط يصل بين أطراف قصاصات الورق ومركز المقطع الموصل ، يمكن الحصول على تمثيل مستو لمجال كهربائي (الشكل ١٤٢) .

ويكون الحيز المحيط بجسم مشحون كهربائياً ، هو المجال الكهربائي .

ويقال لمجال كهربائي أنه موجود في نقطة ما ، إذا بذلت قوة من أصل كهربائي على أي جسم مشحون موضوع في هذه النقطة .

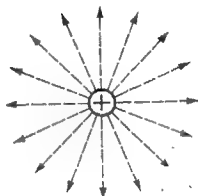
قانون كولوم :

إذا أجرى اختبار معمل بسيط ، للتأكد من وجود قوة ييذلها جسم على جسم آخر ، فيبين هذا الاختبار أن لهذه القوة قيمة أعلى ، عند أي نقطة قريبة من مصدر المجال الكهربائي ، من قيمتها عند أي نقطة على مسافة بعيدة من هذا المصدر . وقد بحث كولوم (١٧٣٦ - ١٨٠٦) هذه العلاقات المتبادلة ، وأوضح ما يعرف في أيامنا هذه « بقانون كولوم » .

فإذا قيل مثلاً ، أن قوة مقدارها ١٠٠ مللي باوند موجودة في نقطة على مسافة ٢ سم من مصدر المجال الكهربائي ، فإن قوة مقدارها ٢٥ مللي باوند يمكن أن توجد على مسافة ٤ سم ،

وقوة مقدارها ١١,١ ملى باوند يمكن أن تتواجد على مسافة ٦ سم من هذا المصدر . ومن ذلك نحصل على الجدول التالي :

المسافة ف بالسنتيمتر	القوة ق بالملى باوند
٢	١٠٠
٤	٢٥
٦	١١,١



شكل ١٤٢ : تمثيل مستو لمجال كهربائي حول موصل مستدير

ويتبين من ذلك ، أنه على مسافة ٤ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{4}$ (ربع) قيمتها الأصلية ، وعلى مسافة ٦ سم انخفضت القوة إلى $\frac{1}{9}$ (تسع) قيمتها الأصلية ويمكن من هذه القيم العملية ، استنتاج الصيغة التالية :

للحصول على قوة المجال الكهربائي ، تضرب القوة في مربع المسافة .

أي أن : $ق \times ف = ٢$

بتطبيق ذلك على المثال السابق ، نحصل على ما يلي :

$$٢٢ \times ١٠٠ = ٢ \times ٢ \times ١٠٠ = ٤ \times ١٠٠ = ٤٠٠$$

$$٢٤ \times ٢٥ = ٤ \times ٤ \times ٢٥ = ١٦ \times ٢٥ = ٤٠٠$$

$$٢٦ \times ١١,١ = ٦ \times ٦ \times ١١,١ = ٣٦ \times ١١,١ = ٣٩٩,٦ \approx ٤٠٠$$

ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية :

تتناقص القوة الفعالة لمجال كهربائي بمقدار مربع المسافة .

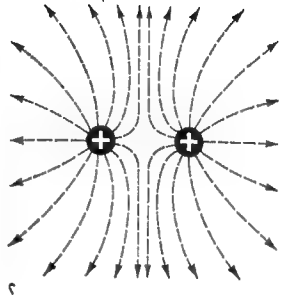
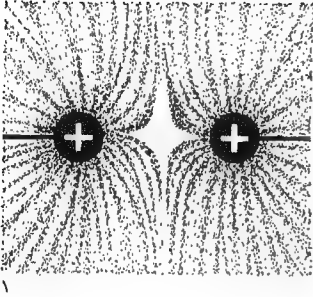
(ب) تشكيلات المجالات الكهربائية :

للحصول على تشكيل لمجال كهربائي ، نوضع موصلات ذات أشكال مختلفة في طبقة رقيقة من الزيت المغلي بحبيبات « السميد » semolina . فعند سريان التيار الكهربائي في هذا الموصل ، تترتب هذه الحبيبات في اتجاه خطوط القوة ، وتعطي بذلك تشكيلا للمجال . وتبين الأشكال الآتية بضع تشكيلات للمجالات الكهربائية .

وعند دراسة هذه التشكيلات ، يمكن التمييز بسهولة بين تشكيلين أساسيين للمجالات الكهربائية :

مجالات كهربائية متجانسة ومجالات كهربائية غير متجانسة .

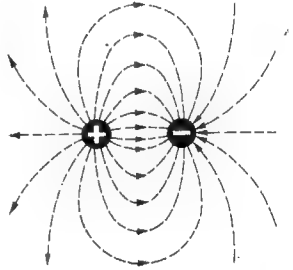
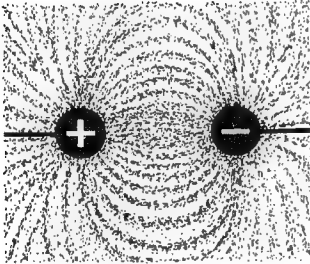
ويمكن الحصول على مجال متجانس بوضع لوحين معدنيين عريضين إلى حد ما ، على مسافة صغيرة من بعضهما البعض . وتسمى هذه الترتيبية « المكثف الكهربائي » أو « المواسع » . وتلعب المواسعات دورا هاما في الهندسة الكهربائية . وسيرد وصفها فيما بعد .



شكل ١٤٣ : تشكيلات المجالات الكهربائية حول مقطعين لموصلين لهما نفس القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

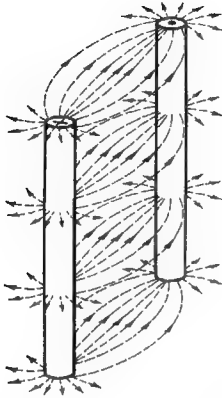
٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٤ : تشكيلات مجالات كهربائية حول مقطعي موصل مختلفي القطبية

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .



شكل ١٤٥ : تشكيل مجال كهربائي
منتج بواسطة أسطوانتين معدنيتين

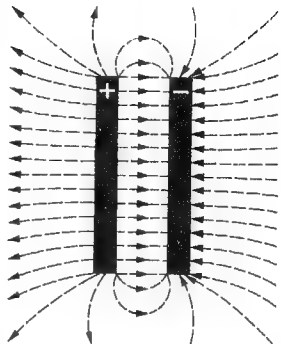
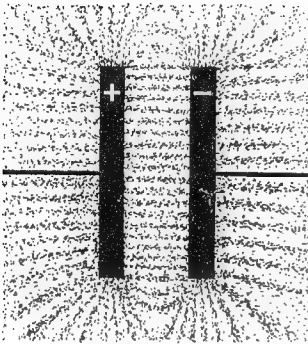
٣/١١ - كهبات لتعيين المجالات الكهربائية المتجانسة :

(١) الوسط الكهربائي العازل - استقطاب الوسط الكهربائي العازل :

يمكن مل^١ الحيز الذي يوجد فيه مجال كهربائي متجانس ، مثل الحيز الموجود بين ألواح مواسع ، بأوساط تختلف عن بعضها البعض تماما . وتعرف هذه الأوساط « الوسط الكهربائي العازل » ، كما تسمى الأنواع المختلفة للأوساط الكهربائية العازلة في الحياة العملية « المواد العازلة » ، أى المواد التى لا توصل التيار الكهربائي (القسم الأول - الفصل السادس) .

ويمكننا افتراض حدوث تغيرات أيضا لها طابع كهربائي في الوسط الكهربائي العازل ، وذلك بإثبات وجود قوى في المجال الكهربائي ، علاوة على إمكان ملاحظة ظاهرة الحث في هذا المجال . ويبين الشكل (٤٧) ترقية اختبار ، تستخدم المساعدة في تبيان الظواهر الكهربائية التى تحدث في حيز غير موصل . تولج حلقة موصلة بجهاز قياس ، بين ألواح مواسع .

ف عند تشغيل هذه الدائرة الكهربائية ، يحدث انحراف عابر لمؤشر جهاز القياس ، وإذا قطعت التغذية عن هذه الدائرة الكهربائية ، ووصل جهاز القياس بعد ذلك بلوحى مواسع ، ينحرف المؤشر أيضا لفترة وجيزة . ويتضح من ذلك سريان تيار كهربائي خلال غير الموصل تحت هذه الظروف المعطاة .

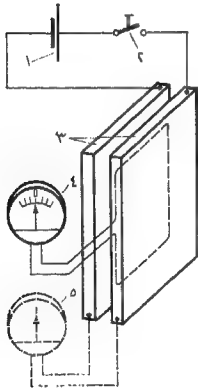


شكل ١٤٦ : تشكيل المجال الكهربائي بين لوحين معدنيين

١ - تشكيل المجال الكهربائي كنتيجة للتجربة .

٢ - تمثيل تخطيطي لمجال كهربائي .

وتفسر هذه الظاهرة على أساس ما سبق شرحه . فقد تكونت على لوحى المواسع ، شحنات كهربائية متضادة القطبية ، تعادلت عن طريق جهاز القياس ، وذلك عند قطع التغذية عن الدائرة الكهربائية . أما عند تشغيل هذه الدائرة ، فتفسر الظاهرة التي حدثت كما يلي :



شكل ١٤٧ : شكل يبين ظاهرة كهربائية تحدث في مجال متجانس

١ - مصدر للجهد .

٢ - مفتاح كهربائي .

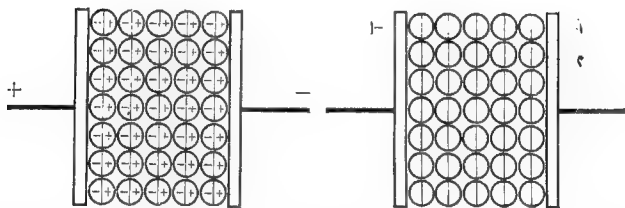
٣ - ألواح المواسع .

٤ - حلقة الموصل الموصلة بجهاز القياس .

٥ - جهاز القياس الموصل بالألواح المواسع .

إذا رجعنا إلى نموذج الذرة المبين في القسم الأول - الفصل الثاني ، تتكون مواد كثيرة من اتحاد ذرتين أو أكثر من تكوين مختلف ، فثلا كلوريد الصوديوم يتكون من اتحاد الصوديوم والكلور . ويسمى أصغر جزء من اتحاد صوديوم وكلور ، أى اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور ، « الجزيء » . فثلا جزيء ماء يتكون من ذرتين هيدروجين (يد) ، وذرة أكسجين (أ) ويعبر عن هذا الاتحاد بالرمز (يد أ) . وفي حالة التبادل الكهربائي للوسط الكهربائي العازل ، فإن الإلكترونات الموجودة في جزيئاتها ، لا تتخذ إتجاها مفضلا لها (الشكل ١٤٨) .

وعندما يسلط جهد على ألواح المواسع ، تنضبط الشحنات الكهربائية الموجودة على الجزيئات بطريقة معينة . ويسمى هذا الانضباط أو الإزاحة للشحنات على الجزيئات « استقطاب الوسط الكهربائي العازل » (الشكل ١٤٩) . ويكون اتجاها الشحنات على الجزيئات ، بحيث ، تضاد الشحنة الموجبة لجزيء لوح المواسع المشحون السالب . وهذا يعنى ، أنه إذا سلط جهد على ألواح المواسع ، فإنه يتكون مجال كهربائي . وبتميز آخر يشحن المواسع ، ويصاحب ذلك ظهور تيار شحن وتيار استقطاب ، ويعبر عن هذين التيارين عادة « بتيار الإزاحة للوسط الكهربائي العازل » .



شكل ١٤٩ استقطاب الوسط الكهربائي العازل

شكل ١٤٨ : الجزيئات المتعادلة كهربائيا بين

لوحى مواسع

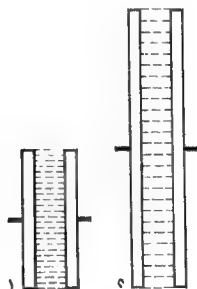
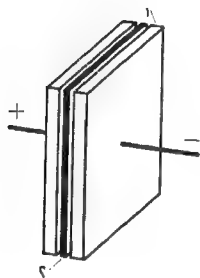
١ - لوحا مواسع . ٢ - جزيئات .

(ب) كثافة الإزاحة الكهربائية :

تحمل ألواح مواسع مشحون ، كمية معينة من الكهرباء ك (القسم الأول - الفصل الرابع) . وتتوقف شدة المجال الكهربائي المتجانس ، التي يمكن بيانها باتباعد خطوط القوة ، على كمية الكهرباء ومساحة ألواح المواسع . والتمثيل المبين في الشكل (١٥٠) ، مبنى على إفتراض أن كمية الكهرباء (والتي اصطلاح عليها كشحنة) تكون هى نفسها في كلا المواسعين كما هو مبين في هذا الشكل ، أى أن

ك⁻ = ك⁺ ، وأن مساحة ألواح المواسع تختلف عن بعضها البعض ، أى أن ح⁺ ≠ ح⁻ . وفى كلتا الحالتين يتساوى عدد خطوط القوى ، ويمكن التحقق من ذلك بعدها ، ومع ذلك فإنها تكون متباعدة بمسافات أكبر ، فى حالة المواسع الأكبر . وهذا يبين أنه يمكن الحصول على مقياس لكثافة شحنة مواسع من خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح^-}$. وإذا وضع لوح معدنى داخل مجال مواسع بنفس الطريقة ، كما هو مبين بالشكل (١٥١) ، فإن شحنة كهربائية ك تنتج بالحث على هذا اللوح . وإذا كانت مساحة اللوح ح مساوية لمساحة المواسع ح⁻ ، تكون قيمة الكثافة من خارج القسمة $\frac{ك}{ح}$ مساوية لقيمتها من خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح^-}$. ويسمى خارج القسمة هذا « كثافة الإزاحة الكهربائية » ويرمز لها بالرمز ك_١ ، أى :

$$ك_1 = \frac{ك}{ح} = \frac{ك^-}{ح^-}$$



شكل ١٥١ : تعيين كثافة الإزاحة

١ - لوحا مواسع .

٢ - ألواح معدن مستحثة ذات كثافة $\frac{ك}{ح}$

شكل ١٥٠ : تمثيل كثافة الشحنة

١ - مواسع بلوحين صغيرين .

٢ - مواسع بلوحين كبيرين .

ويسمى خارج القسمة $\frac{ك^-}{ح^-}$ « كثافة الشحنة للمواسع » ويرمز لها بالرمز ك_١ أيضا.

ونحصل على وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية من كية الكهرباء (الشحنة) ، معبرا عنها بالأمبير ثانية (م ب . ث) ، والمساحة معبرا عنها بالسنتيمتر المربع (سم^٢) ، وعليه تكون وحدة كثافة الإزاحة الكهربائية هي : $\frac{\text{م ب . ث}}{\text{سم}}$

(ج) معامل الوسط الكهربائي العازل :

الحصول على استقطاب ، وبالتالي على مجال متجانس ، تلزم شدة كهربائية ش لها قيمة معينة . ويتوقف ذلك على نوع الوسط الكهربائي العازل المستخدم في المواسع . وقابلية الأوساط الكهربائية العازلة لاكتساب الاستقطابية ، هي خاصية تميز بثابت الوسط الكهربائي العازل ، الذي يعرف أيضا « بمعامل الوسط الكهربائي العازل » ع . وبدراسة الاستقطاب في الفراغ

وجد أن « ثابت التأثير » « ع » يساوي $10 \times 0,0886 - 12 \frac{\text{م ب . ث}}{\text{قل} \times \text{سم}}$

ويمكن التعبير عن أوساط كهربائية عازلة أخرى بقيم مضاعفة من هذه القيمة . وتسمى القيمة التي تنحرف عن قيمة ثابت التأثير « بثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي » ع نسبي .

ومعامل الوسط الكهربائي العازل هو حاصل ضرب ثابت التأثير في ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ، أي :

$$\text{ع} = \text{ع} \times \text{ع نسبي}$$

وتبين القائمة التالية ، ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي لبعض الأوساط الكهربائية العازلة :

ثابت الوسط الكهربائي العازل النسبي ع نسبي	الوسط الكهربائي العازل
٤	كوارتز
٧	ميكا
٤	مطاط
٢,٧	بونا (Buna)
٦,٥ - ٥,٥	صيني صلد (مصقول)
٦,٥ - ٥,٥	أستيتيت
١٠ - ٣	زجاج
٤ - ٢,٥	ورق مشرب بالبرافين

العازل النسبي ع نسبي	ثابت الوسط الكهربائي	الوسط الكهربائي العازل
٦ - ٢		ورق مضغوط
٢,٥ - ٢		زيت محولات
١		فراغ
١,٠٠٠٦		هواء
٨٠		ماء مقطر عند ٢٠ م°
		مواد فخارية خاصة :
٧ - ٦		كالكيت (Calit)
٥٠ - ٣٠	(Condensan Tempa)	كوند نسان تمبا
٧٠٠٠ - ٤٠٠٠	(Epsilan)	إبسيلان
		لدائن (بلاستيك) :
٢,٤	(Styroflex)	استير وفلكس
٣,٤ - ٢,٨		كلوريد عديد الفينيل
٢,٩		بكالكيت

(د) العلاقة بين الشحنة ومقاس الألواح والشدة الكهربائية وثوابت الوسط الكهربائي العازل :

يمكن أيضا تعيين كثافة الشحنة $\frac{ق}{س}$ لمواسع ما ، إذا عرفت الشدة الكهربائية ش ، وثابت الوسط الكهربائي النسبي ع نسبي . ولذلك أهمية في تصميم وتكوين المواسعات كما سيبين بعد .

فإذا كانت الشدة الكهربائية هي ش = $\frac{ق}{ل}$ معبرا عنها $\frac{فل}{سم}$ ، وثابت الوسط الكهربائي

العازل هو ع = ٥ ع نسبي معبرا عنه $\frac{مب . ث}{فل \times سم}$ ، فبضرب ش × ع نحصل على الوحدة التالية :

$$\frac{فل}{سم} \times \frac{مب . ث}{فل \times سم} ، \text{ أى نحصل على } \frac{مب . ث}{سم}$$

هذه الوحدة هي نفسها وحدة كثافة الشحنة أو وحدة كثافة الإزاحة .

ويمكن التعبير عن كثافة الشحنة لمواسع ، بطريقتين :

$$١ - ك ش = \frac{ق}{س} \text{ (نسبة شحنة مواسع إلى مساحة لوحة) .}$$

٢ - ك ش = ع × ش (حاصل ضرب نوع الوسط الكهربائي العازل لمواسع في الشدة الكهربائية للوسط) .

(هـ) المواسعات :

$$\text{من ك ش} = \frac{\text{ك}}{\text{ح}} ، \text{ك ش} = \text{ع} \times \text{ش} = \text{ع} \times \frac{\text{ج}}{\text{ل}}$$

$$\text{ينتج أن} \frac{\text{ك}}{\text{ح}} = \text{ع} \times \frac{\text{ج}}{\text{ل}}$$

وعند حل هذه المعادلة لإيجاد قيمة ك :

$$\text{ك} = \text{ع} \times \frac{\text{ج}}{\text{ل}} \times \text{ح}$$

وفي هذه المعادلة ، لمواسع إزالة التداخل من المحركات الكهربائية المنزلية ، أو في مرشح موجه لمقوم ، تستخدم الكميات التالية :

١ - مساحة اللوح ح

٢ - المسافة بين الألواح ل

٣ - نوع الوسط الكهربائي العازل مع ثابت الوسط الكهربائي العازل ع .

وتؤخذ هذه الكميات في الاعتبار ، عند كتابة هذه المعادلة كما يلي :

$$\text{ك} = \text{ع} \times \left[\frac{\text{ح}}{\text{ل}} \times \text{ج} \right]$$

والتميز الموجود بداخل المستطيل $\frac{\text{ح}}{\text{ل}} \times \text{ج}$ ، لمواسع من النوع المين أعلاه ، هو ثابت

يطلق عليه « المواسعة » ويرمز لها بالرمز س ، وهي مشتقة من السعة .

وتكون السعة أعلى كلما كان مقياس ألواح المواسع أكبر ، وكانت مسافة الألواح أصغر ، مع افتراض أن الوسط الكهربائي العازل يكون ثابتا . وعليه فإن :

$$\text{ك} = \text{س} \times \text{ج} ، \text{س} = \frac{\text{ك}}{\text{ج}}$$

بالتمق في دراسة تصميم المواسعات ، نجد أن المصممين يبذلون جهودا للوصول إلى تصميم مواسعة عالية ، بوضع الألواح أقرب ما يمكن من بعضها البعض ، وباختيار وسط كهربائي عازل ذي متانة كهربائية عازلة عالية ، (انظر القسم الأول - الفصل السادس) ، وباستخدام رقائق رفيعة من المعدن على مسافات صغيرة .

ووحدة المواسعة هي $\frac{\text{مب. ث}}{\text{فل}}$ ، وتسمى « فاراد » نسبة إلى عالم الطبيعيات الانجليزي فاراداي .
والفاراد الواحد عبارة عن كمية كهربائية ذات قيمة عالية . ويفضل عمليا استخدام وحدات مشتقة من الفاراد مثل :

$$١ \text{ ميكرو فاراد (ف) } = ١٠^{-٦} \text{ ف}$$

$$١ \text{ نانوفاراد (نف) } = ١٠^{-٩} \text{ ف}$$

$$١ \text{ بيكوفاراد (بف) } = ١٠^{-١٢} \text{ ف}$$

المواسعة س هي نسبة الشحنة ك إلى فرق الجهد أو الفلطية ج بين الموصلات ، وعلى ذلك :

$$س = \frac{ك}{ج}$$

(و) الحسابات المتعلقة بالمواسعات :

مثال :

مواسع مقاس لوحه ٦ سم \times ٨ سم . استخدمت به ميكا بسلك ١ مم كوسط كهربائي عازل .
فامواسعة هذا المواسع ؟

المعطيات : مقاس اللوح ٦ سم \times ٨ سم

المسافة بين الألواح ل = ١ مم

ثابت الوسط الكهربائي النسبي للميكا ع نسبي = ٧

المطلوب : المواسعة س

الحل :

$$س = ٥ع \times ع \times \text{نسبي} \times \frac{١}{ل}$$

$$= ٨ \times ٦ \times ٢ = ٩٦ \text{ سم}^٢ ، \text{ وعلى ذلك فان .}$$

$$س = ٥,٠٨٨٦ \times ١٠^{-١٠} \times ٧ \times \frac{٩٦}{٠,١}$$

$$= ٥٩٥,٤ \times ١٠^{-١٢} = ٥٩٥,٤ \text{ بيكوفاراد}$$

هذا المواسع له مواسعة قيمتها ٥٩٥,٤ بيكوفاراد .

مثال :

سلط جهد ١٥٠٠٠ فلط على مواسع له وسط كهربائي عازل من الورق المضغوط سمكه ٢ مم .
فا الشدة الكهربائية للمواسع ؟

المعطيات : الجهدج = ١٥٠٠٠ فلط

المسافة بين الألواح ل = ٢ مم

المطلوب : الشدة الكهربائية ش

الحل :

$$ش = \frac{ج}{ل}$$

$$ش = \frac{١٥٠٠٠}{٠,٢} = ٧٥٠٠٠ \text{ فلت/سم}$$

الشدة الكهربائية للمجال على المواسع هي ٧٥٠٠٠ فلت/سم .

مثال :

سلط جهد ٢٢٠ فلت على مواسع ذى مواسة قيمتها ١٦ ميكرو فاراد . فما الشحنة الموجودة على المواسع ؟

المعطيات : المواسة = ١٦ ميكرو فاراد

الجهد ج = ٢٢٠ فلت

المطلوب : الشحنة الكهربائية ك

الحل :

$$ك = س \times ج$$

$$٢٢٠ \times ١٠^{-٦} =$$

$$= ٢,٢ \times ١٠^{-٣} \text{ م.ب.ث}$$

الشحنة الموجودة على المواسع هي ٢,٢ × ١٠^{-٣} أمبير ثانية .

(ز) فقد العزل لمواسع :

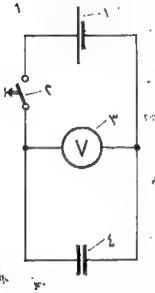
إذا سلط جهد على جهاز قياس فرق الجهد الكهربائى المطلق (انظر القسم الثانى - الفصل الثالث) ، تقرب الألواح من بعضها البعض، وفى نفس الوقت يتكون مجال كهربائى متجانس بينهما . وتشبه هذه الترتيبة ، ترتيبية مواسع . فإذا كانت هذه التبيطة غير مفرغة (مثلا ، عن طريق القياس) فإن الألواح لا تظل على نفس المسافة لفترة طويلة ، بل يحدث تفريغ ، ويكون هذا التفريغ نتيجة لموصلية الوسط الكهربائى العازل . ولذلك تكون مقاومة العزل للوسط الكهربائى العازل عالية جداً ، مع أنه سير تيار صغير جداً . ويسمى هذا التيار « تيار العزل » أو « تيار التسرب » الذى يسبب اضمحلال المجال الكهربائى . وعندما يظل الجهد مسلطاً على المواسع لفترة أطول ، يمر تيار تسرب باستمرار ، يمثل مع الجهد المسلط فقد قدرة للمواسع . ويسمى فقد القدرة هذا « فقد العزل » ويمكن أن يكون لفقد القدرة شكل آخر ، إذا كان المواسع مغذى بجهد متردد . وفى مجال دراستنا لاستقطاب الوسط الكهربائى العازل ذكرنا أن تيار إزاحة الوسط الكهربائى العازل يسرى نتيجة لاستقطاب جزئيات هذا الوسط. وإذا سلط تيار متردد على المواسع ، يعرض الوسط الكهربائى العازل إلى انعكاس مستمر للقطبية .

ويمثل تيار الإزاحة للوسط الكهربائي العازل ، مع الجهد المسلط ، فقد قدرة المواسع .
ويسمى فقد القدرة هذا « فقد الوسط الكهربائي العازل » .

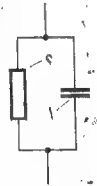
من هذا يتبين أن المواسعات التي تعمل بالتيار المستمر تكون معرضة لفقد عزل ، بينما تكون المواسعات التي تعمل بالتيار المتردد معرضة لكل من فقد العزل وفقد الوسط الكهربائي العازل . ويظهر هذا الفقد في شكل حرارة تتولد في المواسع الذي يحدث فيه الفقد . ولقد بذلت مجهودات كبيرة للمحافظة على قيمة هذا الفقد صغيراً بقدر الإمكان . ومن البديهي ، أنه يجب اختيار عازل ذي جودة عالية . ويكون ثابت الزمن τ مقياساً لهذه الجودة .

ولشرح ثابت الزمن τ ، نأخذ في الاعتبار مواسماً (لا داعي لوصفه هنا) ويكون لمواسعته τ ومقاومة عزل وسطه الكهربائي العازل R أهمية .

ونفرض استخدام هذا المواسع على التيار المستمر لسهولة الشرح .
نمثّل مقاومة العزل R ، يمكن استخدام رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة ، تمثل مواسماً ليس له فقد ، موصل على التوازي مع مقاوم ، تكون مقاومته مكافئة للعزل (الشكل ١٥٢) وتسمى هذه المقاومة « مقاومة الفقد » .



شكل ١٥٢
رسم تخطيطي لدائرة كهربائية مكافئة لمواسع
١ - مواسع ليس له فقد ٢ - مقاومة العزل



شكل ١٥٣ : ترتيبية دائرة كهربائية لتحديد ثابت الزمن

- ١ - مصدر للجهد .
٢ - مفتاح كهربائي بذراع .
٣ - فلظمتر .
٤ - عينة اختبار (مواسع) .

ويكون حاصل ضرب المواسعة التي ليس لها فقد C في مقاومة الفقد R هو ثابت الزمن τ

$$\tau = RC$$

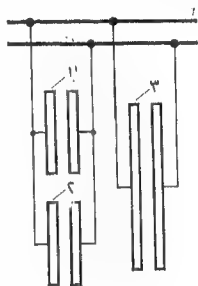
وكلما طالت الفترة التي يستبقى خلالها مواسع مشحون شحنته ، بالمقارنة بمواسع آخر له نفس المواسعة ، كانت جودة عزل هذا المواسع أعلى . والمواسع الذي ليس له فقد ، يكون قادراً على الاحتفاظ بشحنته لفترة لا نهائية . وحتى الآن لم يمكن إنتاج مثل هذا المواسع . وهناك علاقة بين ثابت الزمن τ والجهد المسلط J لمواسع . وثابت الزمن τ هو الوقت الذي يفرغ خلاله

مواسع ليس له فقد عن طريق مقاوم موصل على التوازي إلى $\frac{1}{2,72}$ من جهد شحنته .

وعلى أساس هذه العلاقة يمكن تعيين المواسعة، مع التقريب البسيط، وبمساعدة طرق بسيطة نسبياً ، ويلزم لذلك مصدر للجهد بتيار مستمر، وقاطع دائرة كهربائية ، وفلظمتر ، وساعة ، (الشكل ١٥٣) . والفقد الذي يمارسه مواسع يميز بفقد عزل وبفقد وسط كهربائي عازل. وفي الحياة العملية يجري كل شيء في سبيل المحافظة على هذا الفقد أصغر ما يمكن . ولا جدال في أن لجودة العزل للوسط الكهربائي العازل أثره على فقد المواسع . وثابت الزمن τ هو بيان مناسب لتقييم جودة العزل .

١١/٤ - تقريبية الدائرة الكهربائية للمواسعات :

فيما يتعلق بمناقشة الدوائر والشبكات الكهربائية البسيطة ، ناقشنا علاقات التيار والجهد والإمكانات المختلفة لترتيب المقارمات في دائرة كهربائية . وبالمثل يمكن استخدام المواسعات كعناصر دائرة كهربائية . ويشير الشرح التالي إلى ترتيب المواسعات في دوائر التيار المستمر .



شكل ١٥٤

المواسعات الموصلة على التوازي والشحنة عليها

١ - مواسع له مواسعة S_1 .

٢ - مواسع له مواسعة S_2 .

٣ - مواسع له مواسعة $S_3 = S_1 + S_2$

(١) توصيل المواسعات على التوازي :

يبين الشكل (١٥٤) ثلاثة مواسعات ، مواسعاتها S_1 ، S_2 ، S_3 ، سلط عليها نفس الجهد J . والمواسعين الموصلين على التوازي نفس نوع الوسط الكهربائي العازل ونفس الأبعاد الهندسية . وتساوى أبعادهما الهندسية معاً الأبعاد الهندسية للمواسع الثالث . ويمكن التحقق باستخدام القياس من أنه في هذه الحالة :

$$S_3 = S_1 + S_2 \quad , \quad K_3 = K_1 + K_2$$

علاوة على ذلك ، فإنه يمكن استخدام المعادلة الآتية في هذه الحالة :

$$S_3 \times J = S_1 \times J + S_2 \times J$$

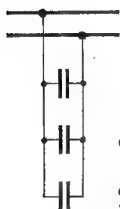
يبين الشكل (١٥٥) ، ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي ، مواسعاتها

S_1 ، S_2 ، S_3 . يمكن الحصول على المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبية من

$$S_3 = S_1 + S_2$$

شكل ١٥٥ : ثلاث مواسعات موصلة على التوازي

ويمكن أن يكون المواسعة أى قيمة مطلوبة



من هذا ينتج أن :

عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي . تكون المواسعة الإجمالية مساوية لحاصل جمع كل مواسعة على حدة :

وإذا وصلت مواسعات لها نفس المواسعة على التوازي في دائرة كهربائية، تكون المواسعة الإجمالية لها :

$$س_{إجمالية} = ن \times س$$

حيث ن عدد المواسعات الموصلة على التوازي .

شكل ١٥٦ : أربع مواسعات موصلة على التوازي

$$١ - س_١ = ٨ \mu \text{ ف} . ٢ - س_٢ = ٨ \mu \text{ ف} . ٣ - س_٣ = ٢ \mu \text{ ف} . ٤ - س_٤ = ٤ \mu \text{ ف} .$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية للترتيبة المبينة في الشكل (١٥٦) :

المعطيات : انظر الشكل (١٥٦) .

المطلوب : س إجمالية

الحل :

$$س_{إجمالية} = س_١ + س_٢ + س_٣ + س_٤$$

$$٨ + ٨ + ٢ + ٤ =$$

$$٢٢ \mu \text{ ف}$$

المواسعة الاجمالية للترتيبة هي $٢٢ \mu \text{ ف}$.

(ب) توصيل المواسعات على التوالى :

يبين الشكل (١٥٧) ثلاثة مواسعات موصلة على التوازي ، مواسعاتها $س_١$ ، $س_٢$ ، $س_٣$.

فرق الجهد في هذه الدائرة الكهربائية $ج = ج_١ + ج_٢ + ج_٣$ كما هو مبين بالشكل .

لتعيين المواسعة الإجمالية :

$$ج = \frac{ك}{س} . \text{ ومن هذه العلاقة نستنتج :}$$

$$ج = \frac{ك}{س_{إجمالية}} = \frac{ك}{س_٣} + \frac{ك}{س_٢} + \frac{ك}{س_١}$$

فبالقسمة على ك نحصل على :

$$\frac{١}{س_{إجمالية}} = \frac{١}{س_٣} + \frac{١}{س_٢} + \frac{١}{س_١}$$

شكل ١٥٧ : ثلاث مواسعات موصلة على التوالى

هذا يعنى أنه عند توصيل أى عدد من المواسعات على التوازي ، فإن مقلوب المواسعة الإجمالية يساوى حاصل جمع مقلوب كل مواسعة على حدة .
ويطبق الآتى على مواسعين موصلين على التوالى :

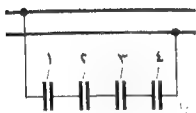
$$\frac{2\text{س} \times 1\text{س}}{2\text{س} + 1\text{س}} = \text{س}$$

مثال :

ما المواسعة الإجمالية لترتيبة الدائرة الكهربائية المبينة فى الشكل (١٥٨) ؟

المعطيات : انظر الشكل (١٥٨)

المطلوب : س إجمالية



شكل ١٥٨ : أربعة مواسعات موصلة على التوالى

$$\begin{aligned} 1 - \text{س} &= 2 \text{ μف} & 3 - \text{س} &= 4 \text{ μف} \\ 2 - \text{س} &= 8 \text{ μف} & 4 - \text{س} &= 4 \text{ μف} \end{aligned}$$

الحل :

$$\frac{1}{4\text{س}} + \frac{1}{4\text{س}} + \frac{1}{2\text{س}} + \frac{1}{1\text{س}} = \frac{1}{\text{س إجمالية}}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} =$$

$$\frac{2}{4} + \frac{2}{4} + \frac{1}{2} + \frac{4}{4} =$$

$$\frac{9}{4} =$$

$$\text{س إجمالية} = \frac{4}{9} \mu \text{ف}$$

$$= 0.444 \mu \text{ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة ٠.٤٤٤ μف .

وإذا كانت الدائرة الكهربائية تشتمل على مواسعات لها نفس المواسعة موصلة على التوالي
نستخدم الصيغة :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

حيث N عدد المواسعات الموصلة على التوالي .

مثال :

دائرة كهربائية تشتمل على ٦ مواسعات مواسعة كل منها ١٦ μ ف . موصلة على التوالي .
فما المواسعة الإجمالية لهذه الدائرة ؟

المطلوب : $S_{\text{إجمالية}}$

الحل :

$$\frac{S}{N} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$\frac{16}{6} = S_{\text{إجمالية}}$$

$$S_{\text{إجمالية}} = 2,67 \mu \text{ ف}$$

المواسعة الإجمالية لهذه الترتيبة هي ٢,٦٧ μ ف

١١ هـ - الأنواع المختلفة للمواسعات :

للمواسعات تطبيقات كثيرة في الدوائر الكهربائية ، وتنقسم من حيث تصميمها إلى :

مواسعات مغلقة .

مواسعات أنبوبية .

مواسعات ألواح .

مواسعات ألواح دوارة أو مواسعات متغيرة .

مواسعات تشذيب .

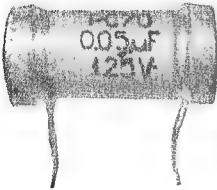
وعلى العموم فإن تصميم المواسع لا يعطى أى بيانات عن مواسعته ، ومتانة وسطه الكهربائى
العازل ، ومقاومته لظروف الحرارة القاسية ، ونوع وسطه الكهربائى العازل وأبعاده الهندسية .

وتبعاً لنوع الوسط الكهربائى العازل ، فإنه يمكن تصنيف المواسعات إلى :

- مواسعات هوائية .
- مواسعات ميكانيكية .
- مواسعات خزفية .
- مواسعات إلكترونية .

والتطبيق المعطى يحكم ويختار التصميم ، والوسط الكهربائي العازل للمواسع ، على أساس التطبيق المطلوب . ومثال لذلك ، فإن المواسعات ذات المواسعة الصغيرة تعمل عادة كمواسعات خزفية ، لأن إنتاجها بهذا الشكل ، يكون أقل تكلفة من إنتاج المواسعات الورقية . وتبين الأشكال من (١٥٩) إلى (١٦٣) ، بعض تصميمات المواسعات .

وهناك تصنيف آخر للمواسعات بني على طريقة تشغيلها ، ويميز بين المواسعات ذات المواسعة المتغيرة والمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة ، وبالاختصار بين المواسعات المتغيرة وغير المتغيرة .



الشكل ١٥٩



الشكل ١٦٠



الشكل ١٦١



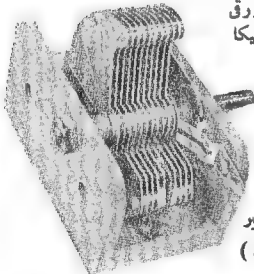
الشكل ١٦٢

الشكل (١٥٩) مواسع خزفية
(VEB Keramische Werke Hermedorf GDR)

الشكل (١٦٠) مواسع إلكترونية

الشكل (١٦١) مواسع ورقية

الشكل (١٦٢) مواسع ميكانيكية



شكل ١٦٣ : مواسع متغيرة
(حوالي ٥٠٠ بيكو فاراد)

(١) المواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة :

تصنع المواسعات غير المتغيرة لقيم معينة للمواسعة . واعتماداً على جودة المنتج ، ينص عادة على اختلاف قيمها عن هذه القيمة أو المقننات ، كنسبة مئوية ، وذلك بواسطة المنتج . علاوة على ذلك يزود المواسع ببطاقة مقننات ، تعطى معلومات عن المواسعة ، والجهد المقنن (وأحياناً جهد الاختبار أيضاً) وعلامة المنتج وتاريخ الإنتاج .
والجدول التالى يعطى حصراً للمواسعات ذات المواسعة غير المتغيرة الأكثر شيوعاً فى الاستخدام :

النوع	الشكل	المازل	البطانة	التطبيق
مواسع ورق	شكل مجمع ، أنبوبي ، أسطواني	ورق مشيع بالبارافين، ورق زيت .	رقيقة ألومنيوم، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم .	هندسة الاتصالات السلكيةواللاسلكية، مواسعات القدرة غير الفعالة فى هندسة التيار القوى
مواسع برقيقة من البلاستيك	أسطواني ، طراز درفين	استيروفلكس	ألومنيوم	معدات القياس اللاسلكية
مواسعات ميكا	مكعبات	ميكا	فضة ، معادن مرسب عليها بخار ألومنيوم	أجهزة المعايرة والقياس التى تعمل بتيار متردد عال التردد
مواسع إلكتروني	أسطواني	أكسيدألومنيوم، يدروكسيد ألومنيوم	ألومنيوم	مرشحات الموجة، تصوية التيار المقوم ، المواسعات العالية ذات المساحة الصغيرة لاستعمال التيار المستمر فقط

هندسة الاتصالات	أنبوبى، على هيئة	كالكيت ، عادة	فضة
اللاسلكية ،	فنجيان	تمببا ، إيسلان	
المواسعات ، ذات			
الاستقرار العالى ،			
استقرار الجهود			
العالية .			

(ب) المواسعات ذات المواسعة المتغيرة :

يمكن تغيير المواسعة المتغيرة في نطاق مدى معين بواسطة نبائط ميكانيكية . وعادة ، تصمم هذه المواسعات على شكل مواسعات ألواح دوارة (الشكل ١٦٣) ، وتصنع من عدد من ألواح معدنية متوازية ثابتة موصلة ببعض وتكون لوحاً واحداً من المواسع ، بينما تكون اللوح الآخر مجموعة أخرى من الألواح المتحركة الموصلة أيضاً ببعض. ويتنوير عمود محور يمكن أن تتداخل المجموعة الثانية في الأولى تتداخل كبيراً أو صغيراً . وتكون المساحة الفعالة للمواسع هي مسافة ذلك الجزء من الألواح المتداخل مع بعضه البعض فقط . ويشتمل الجدول التالى على قائمة للمواسعات المتغيرة الأكثر شيوعاً في الاستخدام :

النوع	الوسط الكهربائى العازل	التطبيق
مواسع هوائى متغير	هواء	دوائر موالفة التذبذبات
مواسع ورقى متغير	ورق ، رقيقة البلاستيك	دوائر موالفة التذبذبات ، التغذية المرتجعة المعاد توليدها ، الوحدات الصغيرة المتضامة المعرضة لفقدان الكبير .
مواسع تشذيب	عادة ، كوندنسان تمبا ، إيسلان	دوائر موالفة التذبذبات ، هندسة القياس بالترددات العالية.

الفصل الثانى عشر

التيار المتردد

كان الشرح والنصوص المتعلقة بالتقنيات الكهربائية العامة ، التى بينت فى الأقسام السابقة مقصورة على دوائر التيار المستمر . ومصادر الجهد التى استخدمت فى الأبحاث السابقة ، كانت قبل كل شئ عبارة عن أعمدة جلفانية ، مثل المراكم أو أنظمة التغذية التى توزع جهدا مستمرا من مولدات . وعلى كل ، فالتيار المستمر له أهمية صغرى بالنسبة لمصادر الكهرباء العامة ، لأن كلا من نقل وتوزيع التيار المستمر ، يظهر مضارا لا توجد فى مصادر التيار المتردد . أما اليوم ، فإن أغلبية محطات القوى تولد جهدا مترددا ، كما أن التيار المتردد ينقل إلى كل مكان . والمستهلكون الذين يستخدمون تيارا مستمرا يحصلون عليه بتحويل التيار المتردد بواسطة معدات مناسبة .

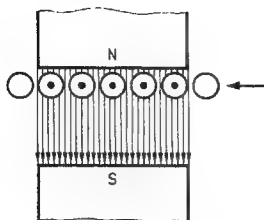
١١٢ - التيار المتردد الجوى :

(١) تعريف فكرة التيار المتردد :

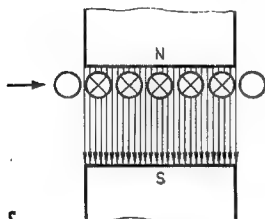
للبده فى مناقشة التيار المتردد نشير إلى الشكل (١٢٦) ، عندما يمر موصل خلال مجال مغنطيسى ، ينتج بالحث جهد يخضع اتجاه تياره لقاعدة اليد اليمنى ، وإذا كان الموصل خارج نطاق المجال المغنطيسى ، ينخفض الجهد إلى الصفر ، أى لا ينتج الجهد بالحث بعد ذلك ، وعليه لا يسرى تيار . وعندما يمر الموصل مرة ثانية عبر المجال المغنطيسى ، يسرى التيار فى اتجاه عكسى ، ويبين ذلك بالشكل (١٦٤) .

وإذا تحرك الموصل عبر المجال المغنطيسى ، موازيا لخطوط الفيض ، لا يحدث حث (الشكل ١٦٥) . ويعطى الشكل (١٦٦) إيضاحا للظاهرة التى تسبب سريان تيار عندما يتحرك موصل ذهابا وإيابا ، طبقا لما هو مبين بالشكل (١٦٤) . وعندما يؤخذ بالموصل عبر المجال المغنطيسى ، تزداد شدة التيار بسرعة إلى قيمة تظل ثابتة ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى .

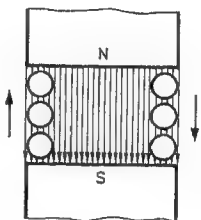
ويبين هذا بالجزء العلوى من المنحنى (١) من الشكل (١٦٦) . وعندما يؤخذ بالموصل مرة ثانية عبر المجال ، يزداد التيار مرة ثانية بسرعة ، إلى قيمة تظل كما هى ، حتى يترك الموصل المجال المغنطيسى . وعلى كل فإنه يجب ملاحظة أن اتجاه التيار يكون عكس اتجاه التيار المنتج بالحث فى الحركة الأولى للموصل . كما هو مبين بالجزء السفلى من المنحنى (٢) بالشكل (١٦٦) .



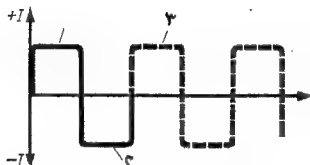
شكل ١٦٤ : اتجاه التيار المنتج بالحث باتجاه عكسي للحركة
١ - اتجاه التيار عند التحرك من اليمين إلى اليسار .
٢ - اتجاه التيار عند التحرك من اليسار إلى اليمين .



شكل ١٦٥ : عندما يتحرك الموصل في هذا الاتجاه لا ينتج جهد بالحث



شكل ١٦٦ : اتجاه التيار المنتج بالحث عندما يتحرك الموصل دوريا ذهابا وإيابا عبر مجال مغناطيسي

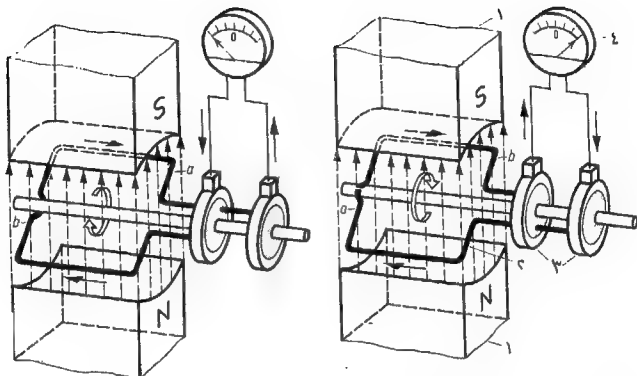


١ - اتجاه التيار عندما يتحرك في اتجاه واحد .
٢ - اتجاه التيار عندما يتحرك في الاتجاه الآخر .
٣ - سريان التيار عندما يتحرك الموصل دوريا .

وإذا تحرك الموصل ذهابا وإيابا دوريا ، نحصل على منحنى تيار ، كما هو مبين بالخطوط المتقطعة (٣) في الشكل (١٦٦) . وسريان التيار المنتج بالحث المبين هنا ، هو سريان التيار المتردد . وهو يتغير باستمرار في الاتجاه والشدة .

(ب) الحلقة الموصلة الدوارة في المجال المغناطيسي :

يكون إنتاج جهد متردد بالحث ، بالطريقة المبينة أعلاه ، غير عملي من الناحية الصناعية ، بينما يكون توليد الجهد المتردد، على أساس الحركة الدورانية، له فوائد . وبين الشكل (١٦٧) مثالا نفوذج لمولد تيار متردد يوضح كيفية إنتاج تيار متردد على التطلق التجاري .



شكل ١٦٧ : نموذج لمولد تيار متردد

- ١ - أقطاب مغناطيسية . ٣ - حلقة انزلاق .
٢ - حلقة مستطيلة بمقاطع . ٤ - جهاز قياس .

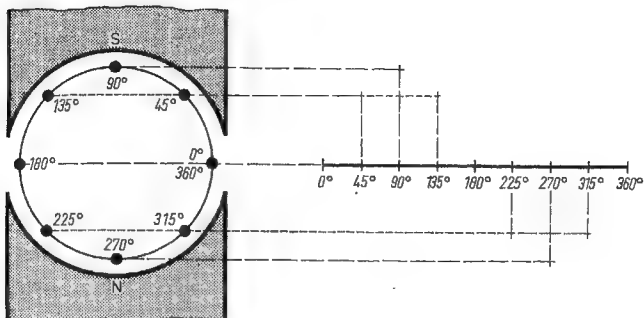
تصمم الأقطاب المغناطيسية ، بحيث تتحرك الأجزاء المتوازية (a ، b) من الحلقة على نفس البعد من السطح الكلي لهما . وعندما نلق نظرة أقرب ، على مقطع الموصل (b) ، نجد أنه يتحرك تجاه الراءى ، بينما يتحرك مقطع الموصل (a) بعيداً عن الراءى . ويكون اتجاه سريان التيار في الحلقة مبيناً بالأشهم . ويبين في الشكل رقم (١٦٨) نفس مولد التيار المتردد بعد تحرك الحلقة نصف دورة .

وعندما نلق نظرة أقرب على مقطعى الموصل (a ، b) ، نجد أن اتجاه الحركة واتجاه التيار في أحدهما يكونان عكس الآخر . وعندما تدور الحلقة في نطاق المجال المغناطيسى ، بسرعة منتظمة ، يغير التيار الكهربائى اتجاهه مع كل دورة بمعدل منتظم . ويبين منحى التيار الذى نحصل عليه بهذه الكيفية بالشكل (١٦٩) .

بتخيل الممر الدائرى ، المرسوم بواسطة مقطع الموصل أثناء دورانه ، نجد أنه يمر خلال الأوضاع : صفر° ، ٤٥° ، ٩٠° ، ١٣٥° ، ١٨٠° ، ٢٢٥° ، ٢٧٠° ، ٣١٥° و ٣٦٠° (وهذا الوضع الأخير يتطابق مع الوضع صفر°) ، المبينة على الدائرة في الشكل (١٦٩) .

ويمكن حساب المسافة التى يقطعها مقطع الموصل في دورة واحدة من :

$$ل = ط \times ق$$



شكل ١٦٩ : توليد تيار له منحنى جيبي : أوضاع مقطع

الموصل مسقطه على خط مستقيم له أبعاد الممر الدائري

حيث $ل =$ طول المحيط .

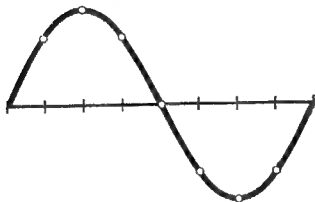
$ق =$ قطر الدائرة .

$ط =$ النسبة التقريبية للدائرة .

توقع هذه المسافة على المنحنى قرب الدائرة وعلى مستوى مركزها، ويستدل على نقطة البداية بالرقم صفر ، وعلى نقطة النهاية بالرقم ٣٦٠° . ويمكن التعبير عن أى قسم بين هذه النقط بالآتي :

$$\frac{1}{8} ق \times ط$$

وهذا يساوى الفرق الزاوى لوضع ٤٥° . وعند إسقاط أوضاع الموصل (بدءا بالوضع ٤٥°) نحصل على نقط أعلى وأسفل الخط المستقيم . وتوصل هذه النقط بمنحنى يمر بها (الشكل ١٧٠) . ويمكن استنتاج ما يلى ، من هذا المنحنى للتيار :



شكل ١٧٠ : توليد تيار له منحنى

جيبى مرسوم عبر النقط المسقطه

- ١ - يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع صفر °) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٩٠ °) .
- ٢ - ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٩٠ °) إلى قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠ °) .
- ٣ - يزداد التيار من قيمة الصفر (عند وضع ١٨٠ °) إلى قيمة قصوى (عند وضع ٢٧٠ °) متخذاً اتجاهها عكسياً .
- ٤ - ينخفض التيار من القيمة القصوى (عند وضع ٢٧٠ °) إلى قيمة الصفر (عند وضع ٣٦٠ °) .

ويسمى التيار المسار بين الوضعين صفر ° ، ١٨٠ « بالتيار الموجب » . ويسمى التيار المار بين ١٨٠ ° ، ٣٦٠ « بالتيار السالب » . وعلى ذلك يكون لمنحنى التيار الجيبى : قيمة قصوى موجبة ، وقيمة قصوى سالبة . وعند مقارنة الشكل (١٦٤) والشكل (١٦٥) بالمنحنى المبين فى الشكل (١٧٠) يمكن ملاحظة الآتى : يتحرك مقطع الموصل عمودياً على خطوط المجال خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد بين ٩٠ ° ، ٢٧٠ ° . وفى هذين الوضعين ، وخلال هاتين الفترتين ، ينتج بالحث أعلى جهد ، وبالتالي أعلى شدة للتيار . ويكون اتجاه حركة مقطع الموصل موازياً لخطوط المجال فقط خلال فترة قصيرة ، وبالتحديد عند صفر ° / ٣٦٠ ° ، ١٨٠ ° . وفى هذه الفترات لا ينتج جهد بالحث .

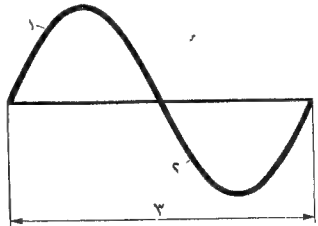
٢/١٢ - كميات لتعيين التيار المتردد :

(١) الموجة والدورة :

لمنحنى التيار المتردد المبين فى الشكل (١٧٠) بضع خصوصيات . ويسمى المنحنى الذى ينتج خلال دورة واحدة لمولدات التيار المتردد « موجة واحدة أو تذبذب واحد » وتتكون الموجة من نصفى موجة أحدهما موجب (+) والنصف الآخر سالب (-) .

وينتج خلال الدورة الثانية للحلقة فى المولد منحنى تيار آخر ، يشابه الأول . تكرر هذه الدورة دورياً أثناء تحرك حلقة الموصل . لذلك تسمى أيضاً الموجة الواحدة أو التذبذب الواحد « دورة » أو « موجة كاملة » .

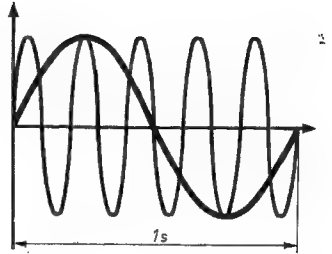
يبين الشكل (١٧١) أجزاء المنحنى ومدلولاتها :



شكل ١٧١ :

مدلولات أجزاء منحنى جيبى

- ١ - نصف موجة موجب .
- ٢ - نصف موجة سالب .
- ٣ - موجة أو تذبذب أو دورة .



شكل ١٧٢ :

تمثيل الترددات ١ هيرتز ، ٥ هيرتز

(ب) التردد والدورة :

لحساب عدد مرات إنتاج موجة في وحدة زمن مثل دقيقة واحدة ، يجب الأخذ في الاعتبار المعدل الذي تدور به الحلقة المستطيلة من السلك ، ويتوقف الاستخدام الاقتصادي للتيار المتردد التجارى على عدد معين من الموجات في وحدة زمن . ويستخدم التعبير « تردد » لوصف عدد الدورات لكل ثانية ، لتيار متردد أو جهد متردد . ويعرف التردد على أنه عدد الدورات في الثانية (اختصاراً د في ث أو د/ث) . ووحدة أخرى للتردد هي الهيرتز التي تساوى دورة واحدة في ثانية واحدة .

النكية	الرمز	الوحدة	الاختصار
التردد	د	هيرتز	هز

وسميت وحدة الدورة في الثانية بالهيرتز نسبة إلى عالم الطبيعيات الألماني هاينريخ هيرتز Heinrich Hertz ، (من ١٨٥٧ إلى ١٨٩٤) . والهيرتز هو دورة واحدة في الثانية ، أى أن :

$$١ \text{ هيرتز} = \frac{١}{\text{ث}} \text{ أو } ١ \text{ هز} = ١ \text{ ث}^{-١}$$

وبين الشكل (١٧٢) الفرق بين تيارين يسريان خلال وحدة زمن مقدارها ثانية واحدة . وفى الشكل المذكور ، يبين المنحنى السميك موجة منتجة عن دورة واحدة ، حلقة المولد في ثانية واحدة ، بينما يبين المنحنى المرسوم بخط مستمر ، دوران الحلقة ه دورات في الثانية . وفى هذه الحالة ، يكون مقدار هذا التردد ه هيرتز .

وفى الهندسة الكهربائية ، تستخدم ترددات مختلفة . ولذلك ، تستخدم عادة ترددات ذات قيمة مضاعفة لقيمة الوحدة الأساسية ، مثل :

$$١ \text{ كيلو هيرتز} = ١٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٣١٠ \text{ هز}$$

$$١ \text{ ميجا هيرتز} = ١٠٠٠٠٠٠ \text{ هيرتز} = ٦١٠ \text{ هز}$$

وتبين القائمة التالية بعض أمثلة للترددات المستخدمة :

٥٠ هز	تيار متردد تجارى
$16 \frac{2}{3}$ هز	تيار متردد لعمليات السكك الحديدية
٢٥ هز	النداء بدق الجرس في هندسة الاتصالات
١٠٥٠ هز	مرسل موجة متوسطة مثلاً
٩,٥ ميجا هز	مرسل موجة قصيرة مثلاً
٨٩,٦ ميجا هز	مرسل موجة تردد عالى جداً (مثلاً)
٦٥ ميجا هز	مرسل تليفزيون مثلاً ، صوت
٥٩ ميجا هز	، صورة

وإذا وجب تحديد زمن الدورة ز للدورة ما ، فإنه يحسب من مقلوب التردد ، وعليه فإن :

$$\frac{1}{\text{التردد}} = \text{الدورة}$$

$$Z = \frac{1}{D}$$

مثال :

ما دورة التردد المستخدم في عمليات السكك الحديدية ؟

$$\text{المعطيات : } D = 16 \frac{2}{3} \text{ هز}$$

المطلوب : ز

الحل :

$$Z = \frac{1}{D} = \frac{1}{16 \frac{2}{3}} = \frac{1}{16,66}$$

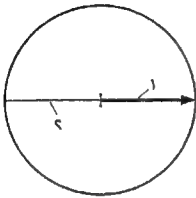
$$Z = 0,6 \text{ ث.}$$

(ج) التردد الزاوى :

في بعض الحالات ، يربط النص على الترددات بالسرعة الزاوية . وهذا يعرف بأنه الزاوية التي يتحرك خلالها مؤشر في وحدة زمن ما (الشكل ١٧٣) . وإذا كان نصف قطر الدائرة المرسومة بواسطة المؤشر (أو حلقة من سلك موصل) يساوى واحداً ، يكون محيط هذه الدائرة هو ٢ ط .

والتردد الزاوى ω (أو ميجا) للتيار المتردد يساوى ٢ ط مضروباً في التردد د . وعليه فإن :

$$\omega = 2 \pi D$$



شكل ١٧٣ : التردد الزاوى

١ - مؤشر .

٢ - نصف قطر الدائرة .

مثال :

ما التردد الزاوى لتيار متردد له $16 \frac{2}{3}$ هز ؟

المعطيات : $\omega = 16 \frac{2}{3}$ هز

المطلوب : التردد الزاوى ω

الحل :

$$\omega = 2\pi \times 3,14 \times 2 = \frac{50}{3}$$

$$= 104,7 \text{ ث}^{-1}$$

التردد الزاوى لهذا التيار $104,7 \text{ ث}^{-1}$

(د) طول الموجة :

تشتمل البيانات المتعلقة بالمعدات المستخدمة في هندسة الاستقبال والنقل عادة على معلومات حول طول الدورة (الموجة) ، معبرا عنها بالمتر أو بوحدة مشتقة منها . ويعرف طول الموجة λ (لامدا) بأنه طول موجة معبرا عنه بوحدة الطول . والمساعدة في تفهم العلاقة بين طول الموجة والتردد، نرجع إلى سرعة الامتداد - الانتشار (الفصل الثالث) . وكما قيل من مثل في هذا المجال، تنتشر الكهرباء بسرعة 300.000 كيلومتر/ث . ويمكن كتابة ذلك أيضا كما يلي :

$$300.000 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^5 \text{ كيلومتر/ث} = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$$

وعندما نربط سرعة الامتداد بالتردد ، نحصل على طول الموجة وهو :

$$\text{طول الموجة} = \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{\text{التردد}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ متر/ث}}{\omega}$$

مثال :

المعطيات : ما طول الموجة لتيار متردد تجارى ؟

د = 50 هز

ع = $3 \times 10^8 \text{ متر/ث}$

المطلوب : ٨

الحل :

$$\frac{ع}{د} = ٨ = \frac{٨١٠ \times ٣}{٥٠} = ٦٠٠٠٠٠٠ \text{ متر}$$

$$= ٦٠٠٠ \text{ كيلومتر}$$

طول الموجة لتيار متردد تجارى ٦٠٠٠ كيلومتر .

إذا عبر عن الترددات بالكيلو هيرتز (كيلو هز) أو بالميجا هيرتز (ميجا هز) ، فينصح أولاً بتحويل سرعة الامتداد إلى وحدة مناسبة .

إذا عبر عن التردد بالكيلو هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة ٣×١٠^٥ كيلومتر/ث

إذا عبر عن التردد بالميجا هيرتز ، وجب التعبير عن السرعة ٣×١٠^٦ ميجا متر/ث

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد ١٠٥٠ كيلو هيرتز ؟

المعطيات : د = ١٠٥٠ كيلو هيرتز

$$ع = ٣ \times ١٠^٥ \text{ كيلومتر/ث}$$

المطلوب :

الحل :

$$\frac{ع}{د} =$$

$$= \frac{٣ \times ١٠^٥}{١٠٥٠} = ٢٨٥,٧ \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٢٨٥,٧ متر .

مثال :

ما طول الموجة المرسل يعمل بتردد ٦٠ ميجا هيرتز ؟

المعطيات : د = ٦٠ ميجا هيرتز

$$ع = ٣ \times ١٠^٦ \text{ ميجا متر/ث}$$

المطلوب : ٨

الحل :

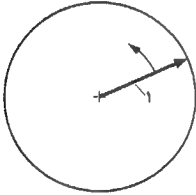
$$\frac{ع}{د} = \gamma$$

$$\frac{210 \times 3}{60} = 10.5 \text{ متر}$$

طول الموجة لهذا المرسل هو ٥ متر

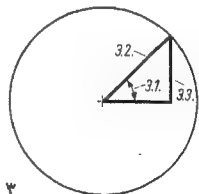
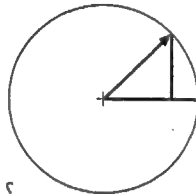
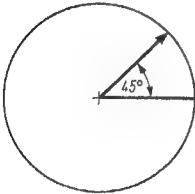
(هـ) قيم الدروة ، والقيم اللحظية ، للجهد المتردد والتيار المتردد :

عندما أوضحنا المنحنى الجيبى للتيار المتردد (الشكل ١٧٠) ، لاحظنا قيمتين قصويتين (عند وضع 0° ، و 360°) وقيمتى صفر (عند وضع صفر 0° ، و 180°) . وعلى كل حال ، فإن أداء مصباح متوهج موصل بنظام تغذية للتيار المتردد التجارى العادى لا يظهر أى زيادة أو إنخفاض فى شدة التيار أو الجهد . وبالمثل ، لا يدور محرك كهربائى موصل بمصدر تيار متردد ، بسرعة منخفضة أو عالية ، تبعا لدورية حث التيار . ويمكن فهم هذه الحقيقة ، على غراريتها ، بوصف خصوصيات الجهود والتيارات المترددة المميزة عن الجهود والتيارات المستمرة .



شكل ١٧٤ : تمثيل المتجه

١ - طول المتجه ل يساوى ج د .



شكل ١٧٥ : دالة جيب فى دائرة التيار المتردد

١/٣ زاوية 45° :

١ - وضع المتجه عند 45°

٢ ٣ الوتر .

٢ - إسقاط عمود

٣/٣ المقابل

٣ - وصف المثلث

تمثيل المتجه :

يبين الشكل (١٧٤) دائرة كهربائية منظاراً ، يمكن أن يدور فيها متجه في عكس عقارب الساعة . نفرض أن طول المتجه يساوى جهداً أقصى . تسمى هذه القيمة بقيمة الذروة ج_ز ، تبلغ قيمة الجهد قيمة الذروة مرتين ، خلال دورة واحدة للمتجه (عند وضع ٥٩٠ ، ٥٢٧٠) . يبين الشكل (١٧٥) وضع المتجه عند ٥٤٥ . عند هذا الوضع لمقطع الموصل على الممر الدائري ، ينتج بالحث جزء معين من قيمة الذروة للجهد . ويمكن تحديد قيمة هذا الجزء من الشكل (١٧٥-٢) وعند رسم عمود من نقطة رأس السهم على المستوى ، نحصل على مثلث قائم الزاوية (الشكل ١٧٥-٣) ودالة الجيب .

$$\text{جيب } \alpha = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} \text{ للمثلث .}$$

(و) تعيين القيمة اللحظية :

يسقط عمود في كل من المدى الموجب والمدى السالب ، بحيث نحصل على مثلث قائم الزاوية . وعلى كل ، فإنه لا يمكن تطبيق ذلك على أوضاع المتجه عند صفر ٥ ، ٥٩٠ ، ٥١٨٠ ، ٥٢٧٠ ، ٥٣٦٠ .

وفي هذه الحالات لا يمكن تكوين مثلث للاستطراد في هذا الشرح . نفرض أن قيمة الذروة للجهد ج_ز هي ٣١١ فلت .

يمكن حساب الجهد عند وضع ٥٤٥ من دالة الجيب . جيب $\alpha \times \text{الوتر}$. وعليه يمكن كتابة القيمة اللحظية ج = جيب $\alpha \times \text{ج}_ز$.

وتمطى قيمة جيب ٥٤٥ في الجداول ، وهي ٠,٧٠٧ ، بحيث نجد :

ج = ٠,٧٠٧ \times ٣١١ فلت ، ج = ٢٢٠ فلت وتكون القيمة اللحظية ج للجهد متردد بقيمة ذروة ج_ز = ٣١١ فلت ، وهي ٢٢٠ فلت عندما يكون وضع حلقة الموصل عند ٥٤٥ .

مثال :

إذا كانت قيمة الذروة لجهد متردد ٥٣٨ فلت فما القيمة اللحظية عندما يكون المتجه عند ٥٣٠ ؟

المعطيات : ج_ز = ٥٣٨ فلت .

جيب ٥٣٠ = ٠,٣٥

المطلوب : ج

الحل :

$$ج = جيب ٣٠^\circ \times ج ز$$

$$٥٣٨ \times ٠,٥ =$$

$$= ٢٦٩ \text{ فلت}$$

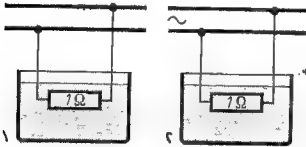
القيمة المحظية لهذا الجهد ٢٦٩ فلت .

(ز) القيمة الفعالة للجهد المتردد والتيسار المتردد :

يبين الشكل (١٧٦) ترتيبتين لدائرتين تساعدان في تعيين الشغل ش الذى يبذله تيار كهربائى .
فى الحالة الأولى ، يوصل مقاوم قيمته ١Ω ، فى دائرة تيار مستمر . ولنفرض أن قيمة الذروة
لهذا التيار المستمر ت = ٣ مب .

وفى الحالة الثانية ، يستخدم مصدر للجهد المتردد . يفترض أن تيارا بقيمة ذروة ت ز
= ٣ أمبير ، يبذل شغلا فى مقاومة قيمتها ١Ω . ويمكن إيجاد الشغل الذى تبذله التيارات
بواسطة أجهزة قياس الحرارة .

ويمكن بمساعدة ترتيبات دائرية مثل هذه ، وأجهزة قياس مناسبة ، إجراء اختبارات تبين
أن للشغل المبذول بواسطة التيار المستمر ، قيمة أعلى اعتباريا من الشغل المبذول بواسطة التيار
المتردد تحت نفس الشروط المعطاة . وسناقش سبب وجود هذا الفرق والعلاقة بين هذين الشكلين
للشغل فيما بعد .



شكل ١٧٦ : هذا الشكل يساعد فى تبين
الشغل الذى يبذله التيار ش
١ - الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر .
٢ - الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد .

وفى الجزء الأول ، الفصل الثامن وجد أن شغل تيار كهربائى (فى دوائر التيار المستمر)
يساوى :

$$ش = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن ج = ت \times م ، فإننا نحصل على

$$\text{ش} = \text{ت} \times \text{م} \times \text{ت} \times \text{ز} \quad \text{أو}$$

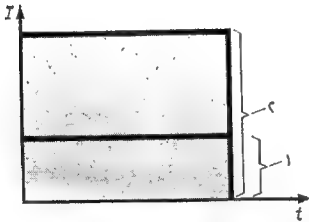
$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{م} \times \text{ز}$$

في هذا المثال ، اختيرت مقاومة م قيمتها ١ أوم ، وحيث أن العامل ١ ليس له تأثير على التطور المطرد فيمكن إهماله ، وعليه :

$$\text{ش} = \text{ت}^2 \times \text{ز}$$

ويمكن الحصول على التمثيل التخطيطي للشغل ش، المبذول بواسطة التيار المستمر ، تحت نفس الشروط المعطاة بشكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٧) . وبالمثل فإنه يمكن تمثيل الشغل المبذول ، بواسطة التيار المتردد ، تحت نفس الشروط المعطاة ، في شكل مساحة توقع على محور الزمن (الشكل ١٧٨) . في هذا المنحنى ، تكون مساحة نصف الموجة السالبة أيضا أعلى محور الزمن حيث أن :

$$- \text{ت} \times \text{ز} - \text{ت}^2 \times \text{ز} = + \text{ت}^2 \times \text{ز} .$$



شكل ١٧٧ :

تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر

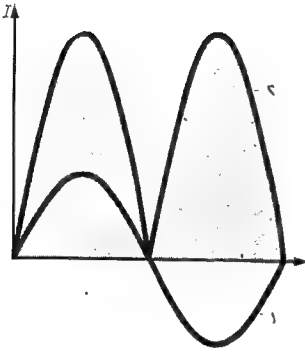
$$١ - \text{ت} \times \text{ز} = \text{أ}$$

$$٢ - \text{ت}^2 \times \text{ز} = \text{أ}$$

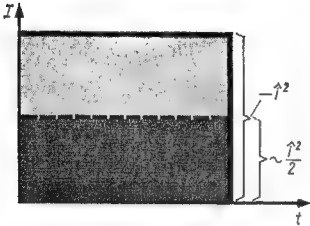
وعند تكوين مساحة مستطيلة من المساحة المحاطة بخطوط كونتور في هذا المنحنى ، يكون من الواضح أن المساحة المستطيلة التي يحصل عليها بهذه الكيفية تكون أصغر ، بقيمة معينة ، من المساحة المستطيلة ، التي تمثل الشغل المبذول بواسطة التيار المستمر (الشكل ١٧٨) . وقد بينت هاتان المساحتان في منحنى واحد للمقاومة في الشكل (١٧٩) .

من هذه المقارنة يمكن استنباط الخلاصات الآتية :

$$١ - \text{يكون الشغل المبذول بواسطة تيار متردد هو } \frac{\text{ت}^2 \times \text{ز}}{٢} ، عند نفس قيمة الذروة \text{ت} \times \text{ز}$$



شكل ١٧٨ :
تمثيل الشغل المبذول بواسطة التيار المتردد
١ - منحنى ت_١ جيبي .
٢ - منحنى ت_٢ جيبي .



شكل ١٧٩ :
مقارنة بين نوعي الشغل عند
نفس القيمة القصوى للتيار ت_١

٢ - لأداء نفس الشغل ، كما هو الحال بالنسبة لتيار المستمر بقيمة ت_١ ، يجب أن تكون

$$\text{قيمة التيار المتردد هي } \sqrt{2} \times \text{ت}_{١} = ١,٤١٤ \times \text{ت}_{١} .$$

٣ - يسمى التعبير $\frac{\text{ت}_{٢}^2}{2}$ بمربع القيمة المتوسطة أو القيمة الفعالة للتيار المتردد ، ومن

هذا يلي :

$$\text{ت}_{٢} = \sqrt{2} \times \text{ت}_{١} = ١,٤١٤ \times \text{ت}_{١} , \quad \frac{\text{ت}_{٢}^2}{2} = \text{ت}_{١}^2 , \quad \frac{\text{ت}_{٢}^2}{2} = \text{ت}_{١}^2$$

٤ - بالمثل فبالنسبة للجهد المتردد نجد :

$$ج_z \times 0,707 = ج ، \frac{ج_z}{\sqrt{2}} = ج ، \frac{ج_z}{\sqrt{2}} = ج$$

٥ - من هذا ، تعين قيمة الجهد وشدة التيار في شكل العلاقة :

$$ج_z \times \sqrt{2} = ج \times 1,414$$

$$ت_z \times \sqrt{2} = ت \times 1,414$$

تكون القيمة الفعالة لجهد وشدة تيار جيبيين متغيرين هي ٠,٧٠٧ مضروباً في قيمة الذروة للجهد أو شدة التيار .

بهذه التعاريف لقيمة الذروة ، والقيمة اللحظية ، والقيمة الفعالة للجهد وشدة التيار المتردد ، أهمية عملية في بناء مولدات التيار المتردد . وعلى سبيل المثال لا الحصر في الحياة العملية ، تنسب قيم الجهود المترددة والتيارات المترددة إلى القيم الفعالة للكميات المناظرة لها .

١٢/٣ - المقاومات الأومية ، والحثية ، والسعوية في دائرة التيار المتردد :

(أ) المقاومات الأومية في دائرة التيار المتردد :

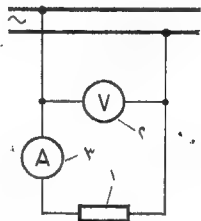
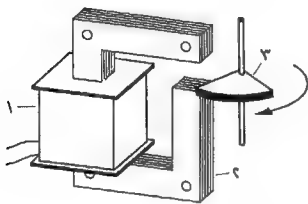
لقد وصفنا في القسم الأول - الفصل السادس ، في مجال الحديث عن المقاومات ، بضع مقاومات (مقاومات من السلك الملفوف ، مقاومات كربونية ، مقاومات متغيرة) ويتبع تصرف هذه المقاومات في دائرة التيار المستمر قانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كان مثل هذا المقاوم ، سيتبع قانون أوم ، أيضاً ، أم لا ، عندما يوصل في دائرة تيار متردد . وكما سبق ذكره تبين أجهزة القياس الشائعة الاستخدام قسماً فعالة للجهد المتردد والتيار المتردد . وإذا وصل مقاوم من النوع المبين أعلاه ، في دائرة تيار متردد ، نجد أن تصرفه يطابق قانون أوم أيضاً (الشكل ١٨٠) .

تسمى المقاومات في دائرة التيار المتردد ، التي تتبع قانون أوم ، بالمقاومات الفعالة .

(ب) المقاومات الحثية في دائرة التيار المتردد :

تعرف المقاومات الحثية بالمقاومات التي تحكمها قوانين الحث الذاتي (القسم الأول - الفصل العاشر) . والتعبير العام لتبعية أو عنصر دائرة كهربائية له معادلة هو « ملف محاث »

لأن المقاومات الحثية تسمى أيضا « المحاثات » . مثل ملفات الحثية هذه تكون مغنطيسيات كهربائية ، أو ملفات بقلب حديد أو بدونه ، أو لفيفات في عموكات ، أو مولدات كهربائية . وتشير المناقشة التالية إلى ملف كايح للتيار ، مزود بقلب حديد ، يمكن ضبطه . وهذا الملف يكون عبارة عن ملف محاث ، لأن له محاثية . ويمكن تغير الحث المغنطيسي له بواسطة القلب الحديد . والملف الكايح عبارة عن عينة ممثلة لكل الأنواع الأخرى من ملفات الحثية (الشكل ١٨١) .



شكل ١٨١ : ملف متغير كايح للتيار

شكل ١٨٠ : قياس الجهد وشدة التيار في

١ - ملف .

دائرة تيار متردد

٢ - قلب حديد .

١ - مقاومة أومية .

٣ - نبيطة ضبط (لتغيير ثغرة الهواء) .

٢ - فلطيمتر .

(ج) تصرف ملفات الحثية في دائرة التيار المستمر :

يبين الشكل ١٨٢ ترتيباً لدائرة تشتمل على مصباح متوهج ، وملف كايح للتيار ، موصلين على التوالي . توصل هذه الدائرة بمصدر جهد مستمر . يفترض أن المقاومة الأومية لعنصرى الدائرة معروفة . عند تشغيل ترتيبية الدائرة هذه ، يفترض أن يكون الجهد وشدة التيار بحيث يضىء المصباح المتوهج . عندما تنخفض شدة التيار والجهد عبر عنصرى الدائرة نجد أن عناصر الدائرة تصرف طبقاً لقانون أوم . وفى هذه الحالة ، يتصرف أيضاً الملف الكايح للتيار طبقاً لقانون أوم . لنبحث الآن ما إذا كانت قيمة الحث تبذل تأثيراً خاصاً على تصرف الملف الكايح للتيار في دائرة التيار المستمر . عندما يتغير الحث المغنطيسي للملف الكايح للتيار ، في دائرة كهربائية مغلقة ، أى عندما تنخفض أو تزداد ثغرة الهواء ، بواسطة قطعة الحديد المتحركة ، يستمر المصباح المتوهج في الإضاءة دون تغير .

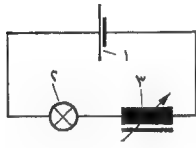
إذا احتوت دائرة تيار مستمر على ملف محاثية ، فتكون مقاومته الأومية فقط هي فعالة .

(د) تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد :

فيما يلي وصف لترتيبة اختبار ، يمكن بمساعدتها ملاحظة تصرف ملفات المحاثة في دائرة التيار المتردد .

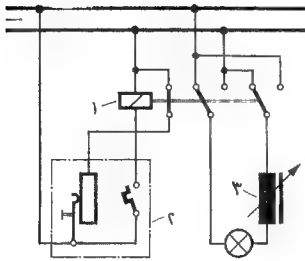
وفي هذا المجال ، يجب ملاحظة أنه يمكن تشغيل جهاز كهربائي موصل في دائرة تيار مستمر ، بواسطة مفتاح كهربائي يسمى مغير القطب ، بكيفية ما بحيث يتغير اتجاه التيار المار في الجهاز دوريا .

يبين الشكل (١٨٣) ترتيبية دائرة تحتوي على مفتاح كهربائي حراري ، ومتابع ، وملف كابح للتيار المتغير ومصباح متوهج . ويشبه أساس تصميم المفتاح الكهربائي الحراري التصميم الخاص بوحدة ومضة لمين الاتجاه بالضوء المستخدم في السيارات . ويشتمل المفتاح الكهربائي على مقاوم تسخين متغير ، مصمم لضبط التردد في نطاق المدى من ١ إلى ٢ هز . وعندما تغذى ترتيبية الدائرة هذه ، يسخن مقاوم التسخين للمفتاح الكهربائي الحراري . وتبعاً لذلك يقلل المفتاح ، ويشغل المتابع . في هذه اللحظة ، يعكس اتجاه التيار عبر المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار المتغير ، وفي نفس الوقت تقطع التوصيلة إلى المفتاح الكهربائي الحراري ويشغل المتابع .



شكل ١٨٢ : تصرف ملف كابح التيار في دائرة تيار مستمر

- ١ - مصدر الجهد .
- ٢ - مصباح متوهج .
- ٣ - ملف متغير كابح للتيار .



شكل ١٨٣ :

ترتيبة تبين تصرف ملفات المحاثة في دوائر التيار المتردد

- ١ - متابع .
- ٢ - مفتاح كهربائي حراري .
- ٣ - مصباح متوهج وملف متغير كابح للتيار .

تعد نفس الدورة ، عندما يشغل المتابع قفيل ملاسمات المفتاح الكهربائى الحرارى ، وينذى المصباح المتوهج والملف الكابح للتيار بتيار ذى اتجاه عكسى . يعطى الجدول التالى شروط الاختبار التى تشغل تحتها ترقية الدائرة هذه وكذلك النتائج التى يحصل عليها :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز ثغرة الهواء حرة	يشع المصباح ضوءا خافتا ، بمقارنته بالضوء الذى يشعه المصباح عند تشغيله بالتيار المستمر .
تردد ١,٥ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه فى الحالة السابقة .
تردد ٢ هز ثغرة الهواء حرة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١,٥ هز
تردد ١ هز نصف ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ، ثغرة الهواء حرة .
تردد ١ هز ثغرة الهواء مقفلة	يكون الضوء أخفت منه مع تردد ١ هز ونصف ، ثغرة الهواء مقفلة .

ومن هذا يستخلص الآتى :

- ١ - تزداد المقاومة بازدياد التردد فى دائرة التيار المتردد التى تحوى ملفات محاثية .
- ٢ - تزداد أيضا المقاومة إذا ازداد الحث المغنطيسى للملف فى دائرة تيار متردد .
إلى جانب المقاومة الفعالة لدائرة تيار متردد ، يمكن حدوث مقاومة ناتجة عن ملفات المحاثية فى هذه الدائرة . تسمى المقاومة الأخيرة « المفاعلة الحثية » .

محاثية ملف :

فما يتعلق بمناقشة الحث الداى (القسم الأول - الفصل العاشر) ، يمكننا ملاحظة أن طاقة كهربائية تنتج بالحث فى الملفات ، ويكون اتجاهها العكس الاتجاه الفعال للطاقة المولدة لها .

وإذا تغيرت شدة التيار في ملف بمقدار أمبير واحد ، في دقيقة واحدة ، وإذا أنتج بالحث في نفس الوقت جهد قيمته فلط واحد في هذا الملف ، يكون للملف محاطة قيمتها

$$\frac{1 \text{ فل ث}}{\text{مب}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}}$$

ووحدة المحاطة $\frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$ تسمى هنرى نسبة إلى عالم الطبيعيات ج . هنرى (J . Henry) .
(١٨٧٨ - ١٧٩٧) .

$$1 \text{ هنرى} = \frac{1 \text{ وب}}{\text{مب}}$$

ورمز المحاطة هو ح

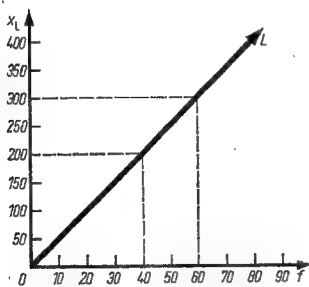
المفاعلة الحثية وتعيينها : يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة الحثية مف لملف ماهي حاصل ضرب التردد الزاوي ω في المحاطة ح ، وعليه فإن :

$$\text{مف ح} = \omega \times \text{ح}$$

ونحصل على وحدة المفاعلة الحثية مف ح من

$$\Omega = \frac{\text{فل}}{\text{مب}} = \frac{\text{فل ث}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}} = \frac{\text{وب}}{\text{مب}} \times \frac{1}{\text{ث}}$$

وبين الاعتماد المتبادل بين التردد الزاوي ، والمحاطة ، والمفاعلة الحثية بالشكل (١٨٤) .
ومحاطة الملف المستخدمة في هذا الاختبار هي ه هنرى .



شكل ١٨٤ : العلاقات المتبادلة بين

$$L , X_L , \omega$$

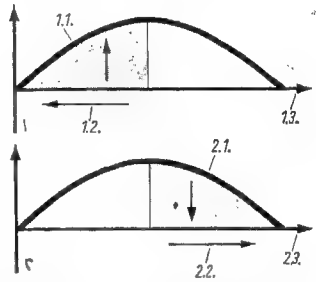
حيث ω = السرعة الزاوية للتردد .

$$X_L = \text{مف ح} = \text{المفاعلة الحثية} .$$

$$L = \text{ح} = \text{الحث} .$$

الحثية والعلاقة الموثقة بين الجهد والتيار :

لقد نوقش تصرف ملف في دائرة تيار مستمر على أساس الحث الذاتي ، ويفسر هنا تأثير الحث الذاتي على الجهد المتردد والتيار المتردد :



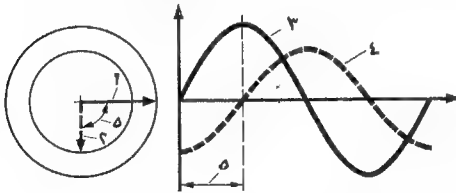
شكل ١٨٥ :

الجهد المنتج بالحث في ملف حثية خلال نصف دورة

- (١) ١/١ - طور المجال النامي .
- ٢/١ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- ٣/١ - اتجاه التيار المتردد .
- (٢) ١/٢ - طور المجال المتناقص .
- ٢/٢ - اتجاه الجهد المنتج بالحث .
- ٣/٢ - اتجاه التيار المتردد .

يبين الشكل (١٨٥ - ١) تكوين المجال المغنطيسي للملف حثية ، واتجاه القوى الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، بينما يبين الشكل (١٨٥ - ٢) خبو هذا المجال ، واتجاه القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث ، خلال نصف موجة . وإذا ضمت لدائرة كهربائية ملفات حثية خارجية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية) ، فيمكن بسهولة شرح الظاهرة التي تحدث في دائرة تيار متردد ، والمبينة في الشكل (١٨٥) ، ولا يمكن زيادة جهد متردد مسلط للملف حثية بين الوضعين صفر ، ٩٠° إلى درجة كما هو الحال إذا حملت الدائرة بمقاومات فعالة .

ونتيجة للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث التي يكون اتجاهها ، عكس اتجاه الجهد المتردد ، يكون الأخير متعادلا ولو جزئيا . وحيث أنه لا يمكن أن يسرى تيار كهربائي ، دون وجود فرق جهد ، فيسرى التيار في هذه الحالة فقط إذا انخفض الجهد المتردد في الوضعين ٩٠° إلى ١٨٠° إلى الصفر . ويكون للقوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث نفس اتجاه الجهد المتردد . ويضاف كلا الجهدين ويعملان بحيث ، يظهر جهد منتج بالحث عند جهد متردد قيمته صفر ، وهذه الكيفية يمر تيار ويصل الجهد المتردد المسلط إلى قيمة الصفر وينير اتجاهه .



- ١ - متجه الجهد .
- ٢ - متجه التيار .
- ٣ - متحن الجهد .
- ٤ - متحن التيار .
- ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٨٦ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل حثي بحت

يسمى الفرق المؤقت بين الجهد والتيار « إزاحة الطور » أو « فرق الطور » (الشكل ١٨٦) .
ويمبر عن قيمة فرق الطور بزاوية الطور ϕ .

إذا كانت هناك ملفات محمّلة في دائرة تيار متردد ، يحدث فرق مؤقت بين ظهور الجهد والتيار . ويقال عن التيار الذي يظهر متأخرا بأنه متخلف في الطور .

(٥) المفاعلات السعوية في دائرة التيار المتردد :

تصرف المواسعات في دائرة التيار المستمر :

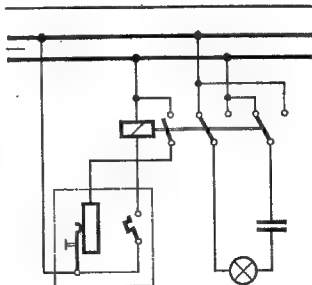
تسمى النبطية الكهربائية التي لها مواسعة « المواسع » . وأظهرت مناقشة المجالات الكهربائية المتجانسة أن المواسع الذي يوصل لدائرة تيار مستمر يشحن ، وأنه لا يسمح بمرور تيار خلال مواسع مشحون . وعندما يعتبر مواسع كأنه مقاوم تكون للمقاومة م للمواسعة ، في دائرة التيار المستمر ، قيمة لا نهائية ($\infty = M$) .

للمواسعات في دائرة التيار المستمر مقاومة لا نهائية القيمة .

تصرف المواسعات في دائرة التيار المتردد :

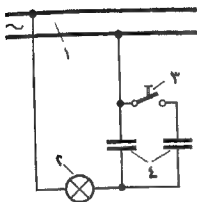
لبحث تصرف مواسع في دائرة تيار متردد (الشكل ١٨٧) تستخدم نفس الترتيبة المبينة في الشكل (١٨٣) . ويستخدم بدلا من الملف الكامبج للتيار مواسع . وكما في اختبار المحاثات ، تبين شروط الاختبار والنتائج التي يحصل عليها في حالة المواسعات في دائرة التيار المتردد على شكل جدول :

شروط الاختبار	النتيجة
تردد ١ هز	لا يضيء المصباح
تردد ١,٥ هز	يشع المصباح ضوءا خافتا
تردد ٢ هز	يشع المصباح ضوءا أكثر



شكل ١٨٧ :

ترتيبة تبين تصرف المواسعات
في دوائر التيار المتردد



شكل ١٨٨ : ترتيب تبيين تصرف المواسعات ذات المواسعات المنخفضة والعالية في دوائر التيار المتردد

- ١ - تردد المصدر = ٥٠ هز ٣ - مفتاح كهربائي .
٢ - مصباح متوهج . ٤ - مواسعات .

يبين الشكل (١٨٨) ترتيب دائرة يوصل فيها مواسع آخر على التوازي ، مع مواسع موصل على التوالي مع مصباح ، عن طريق مفتاح كهربائي . لنفرض أن التردد هو ٥٠ هز ، ويكون للمواسع المختار قيمة ، بحيث يشع عندها المصباح المتوهج ضوءا خافتا عند فتح المصباح الكهربائي . وعند تشغيل المفتاح الكهربائي ، لتوصيل المواسع الثاني بالمواسع الأول على التوازي ، تتضاعف القدرة الضوئية للمصباح . ومن الواضح أن المقاومة تنخفض بازدياد المواسعة ، ومن هذا :

١ - تنخفض المقاومة بازدياد التردد ، في دائرة تيار متردد لها مواسعات .

٢ - تنخفض المقاومة بازدياد المواسعة ، في دائرة تيار متردد .

تسمى المقاومة الناتجة عن المواسعات في دائرة تيار متردد بالمفاعلة السعوية .

المفاعلة السعوية وتعيينها :

يمكن التحقق بالاختبارات من أن المفاعلة السعوية مف هي مقلوب حاصل ضرب التردد الزاوي في المواسعة س ، وعليه فإن :

$$\text{مف} = \frac{1}{\omega \times \text{س}}$$

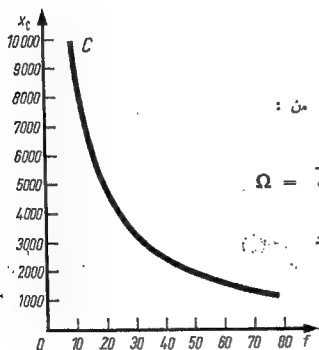
ونحصل على وحدة المفاعلة السعوية مف س من :

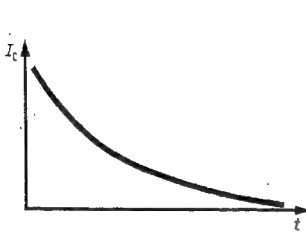
$$\Omega = \frac{\text{فل}}{\text{مب}} = \frac{\text{ت}}{\text{مب ت}} = \frac{1}{\frac{\text{مب ت}}{\text{فل}} \times \frac{1}{\text{ت}}}$$

ويبين الشكل (١٨٩) الاعتماد التبادلي بين التردد

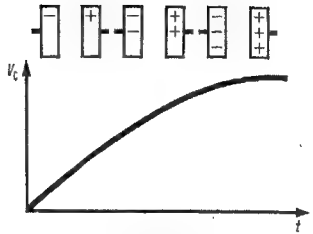
الزاوي ، والمواسعة ، والمفاعلة السعوية .

شكل ١٨٩ : العلاقة بين س ، مف س





شكل ١٩١ : توليد الجهد خلال شحن مواسع
في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة



شكل ١٩٠ : توليد التيار خلال شحن مواسع
في مرحلة $\frac{1}{4}$ دورة

المواسعة والعلاقة الموقّعة بين الجهد والتيار :

تسبب المواسعات أيضاً ، كما هي الحال في المحاثات ، فرق طور بين الجهد والتيار ، في دائرة التيار المتردد .

يبين الشكل (١٩٠) منحنى الجهد أثناء شحن مواسع خلال $\frac{1}{4}$ دورة . وكما نعرف ، يسمح بمرور تيار ، فقط ، حتى يتم شحن المواسع ، وهذا يعني أن التيار ينخفض من قيمة مبدئية إلى قيمة الصفر (الشكل ١٩١) .

وكما هو الحال في المحاثات ، حيث تتكون المجالات المغنطيسية وتخبو ، تتكون المجالات الكهربائية للمواسعات وتخبو ، خلال مرحلة نصف موجة (الشكل ١٩٢) .
عند إدماج مواسعات خارجية في دائرة كهربائية (وهذا لا يحدث في الحياة العملية عادة) يمكن تمثيل حدوث الجهد والتيار بالنسبة للزمن بطريقة بسيطة (الشكل ١٩٣) .

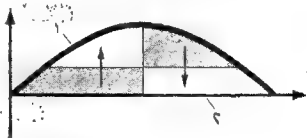
عند إدماج مواسعات في دائرة تيار متردد ، يظهر الجهد والتيار في أوقات مختلفة ، ويكون التيار متقدماً زمنياً .

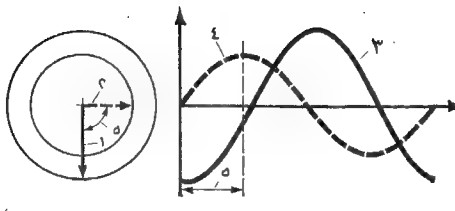
(و) التطبيق العام لقانون أوم على دائرة تيسار متردد :

يبين مما سبق ذكره ، فيما يخص بدائرة التيار المتردد ، أن المقاومات الفعالة ، والمفاعلات الحثية ، والمفاعلات السعوية ، يمكن أن تحدث في هذه الدائرة .

شكل ١٩٢ : تكوين وخبو مجال كهربائي
خلال نصف موجة .

- ١ - تكوين مجال كهربائي .
- ٢ - خبو مجال كهربائي .





- ١ - منحنى الجهد .
- ٢ - منحنى التيار .
- ٣ - منحنى الجهد .
- ٤ - منحنى التيار .
- ٥ - زاوية الطور .

شكل ١٩٣ : فرق الطور بين الجهد والتيار في حالة حمل سعوى بسيط

ولا تحدث المقاوّمات الفعّالة أى تأثير على فرق الطور بين الجهد والتيار .

والمعاوقة مع ، لدائرة تيار متردد ، تحوى مقاوّمات فعّالة ، ومفاعلات حثية ، والتي تنتج من القيم الفعّالة للجهد المتردد والتيار المتردد ، والتي تخالف المقاوّم م ، تعطى بالعلاقة :

$$V = \sqrt{V_M^2 + V_C^2} = \sqrt{V_M^2 + (I \times \omega)^2}$$

حيث مع = المعاوقة .

م = المقاوّم

مف = المفاعلة الحثية

ω = التردد الزاوى

ح = الحثية

وإذا أدمجت مقاوّمات فعّالة ومفاعلات سعوية ، فى دائرة تيار متردد ، فتعطى المعاوقة بالعلاقة :

$$V = \sqrt{V_M^2 + V_S^2} = \sqrt{V_M^2 + \left(\frac{1}{\omega \times S}\right)^2}$$

حيث : مف = المفاعلة السعوية .

س = المواسعة .

وتماكس فروق الطور الناتجة ، بواسطة المفاعلات الحثية ، والسعوية ، إحداها الأخرى ولهذا السبب ، يصبح الفرق بين كلا النوعين من المفاعلات فعّالا فى دائرة التيار المتردد وهو :

$$V = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times S} - C \times \omega \right)^2 + V_m^2}$$

$$V = \sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times S_{mf}} - C_{mf} \times \omega \right)^2 + V_m^2}$$

ولذا عبر عن الفرق ($C_{mf} - C$) بالمفاعلة m

ينتج أن :

$$V = \sqrt{V_m^2 + V_{mf}^2}$$

ومن هذا ينتج أنه يمكن تطبيق قانون أوم على دائرة تيار متردد في الشكل العام .

$$C = \frac{C_{mf}}{m}$$

$$C = \frac{1}{\omega \times \sqrt{\left(\frac{1}{\omega \times S} - C_{mf} \times \omega \right)^2 + V_m^2}}$$

١٢/٤ - الشغل الكهربائي ، والقدرة الكهربائية للتيار المتردد :

إذا كان هناك تطابق بين طور جهد وطور تيار ، في دائرة تيار متردد ، نحصل على قدر ظاهرية من حاصل ضرب القيم الفعالة للجهد والتيار :

$$Q = C \times F$$

حيث Q رمز الحرف Q للقيمة الظاهرية ، ويرمز الحرف F للقيمة الفعالة .

وبالمثل ، بالنسبة للشغل الظاهري ، نجد أن :

$$Q_z = C_z \times F_z$$

وعلى كل ، فإن القدرة الحقيقية لدائرة تيار متردد ، تعين بواسطة فرق الطور ، الحادث عن المفاعلات الحثية والسعوية .

وتسمى هذه القدرة « القدرة الحقيقية » أو « القدرة الفعالة » Q للتيار المتردد .

ويفسر ذلك بمساعدة الشكل (١٩٤) . وتكون الزاوية بين طور الجهد وطور التيار في منحنى العلاقة بينهما ، مساوية 90° . وبضرب القيم اللحظية للجهد والتيار ، يمكن تكوين مساحات كما هو مبين في الشكل (١٧٩) . ونجد على كل ، أن هذه المساحات موجودة في المدى السالب ، فهي تحدث في هذه المقاطع ، التي لا يظهر فيها الجهد والتيار معاً في المدى السالب ، أو في المدى

الموجب ($- = + \times -$ ، $- = - \times +$) ويجب طرح هذه المساحات السالبة من المساحات الموجبة . وبتميز آخر ، يقترب متوسط القدرة الفعالة قرب محور الزمن ، كلما كان فرق الطور كبيراً .

ويمكن تعيين القدرة الفعالة في دائرة تيار متردد بواسطة جيب تمام زاوية الطور ، ويسمى التعبير جتا Φ « عامل القدرة » للتيار المتردد . وتعطى القدرة الفعالة بالصيغة التالية :

$$\text{قدن} = \text{قد ظ} \times \text{جتا } \Phi$$

$$\text{ج ت} \times \text{ت ن} \times \text{جتا } \Phi$$

وبالتالي ، يكون الشغل الفعال للتيار المتردد :

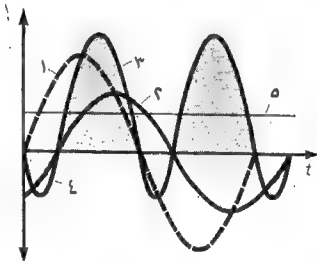
$$\text{ش} = \text{قد ظ} \times \text{ز}$$

$$\text{ج ت} \times \text{ت ن} \times \text{جتا } \Phi \times \text{ز}$$

شكل ١٩٤ : القدرة الفعالة للتيار المتردد

عند فرق طور 90°

- ١ - منحنى الجهد .
- ٢ - منحنى التيار .
- ٣ - مساحة القدرة في المدى الموجب .
- ٤ - مساحة القدرة في المدى السالب .
- ٥ - القيمة المتوسطة للقدرة عند $\Phi = 90^\circ$.



مثال :

سلط جهد متردد قيمته ٣٨٠ فلت ، على محرك كهربائي ، وكان دخل التيار ١,٥ أمبير ، وعامل القدرة ٠,٨٠ . فا القدرة الظاهرية ، والقدرة الفعالة لهذا المحرك الكهربائي ؟

المعطيات : ج = ٣٨٠ فلت .

ت = ١,٥ أمبير .

جتا $\Phi = ٠,٨٠$.

المطلوب : قد ظ ، قدن

الحل :

$$\text{قد ظ} = \text{ج ت} \times \text{ت ن}$$

$$= 380 \times 1,5 = 570 \text{ واط}$$

لتمييز القدرة الظاهرية عن القدرات الأخرى ، يستخدم التعبير فل . مب (فلط - أمبير) بدلا من التعبير واط قدنى = جنى × تنى × جتا Φ

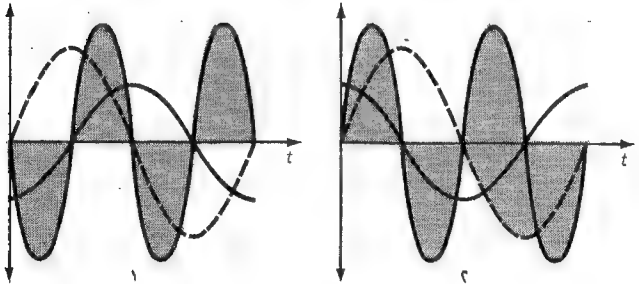
$$= 380 \times 1,5 \times 0,8 = 456 \text{ واط}$$

الأهمية العملية لعامل القدرة :

يمكن التحقق بواسطة الدالات المثلثية من أن زاوية الطور تصبح - ٩٠° أو ٩٠° في الدائرة الكهربائية ذات الأحمال السعوية البحتة ، والحثية البحتة (الشكل ١٩٥) .

ويبين هذان المنحنيان للقدرة ، أنه ليس هناك قدرة فعالة في هاتين الحالتين . ولقد سبق أن قيل إن هاتين الحالتين لاتحدثان عملياً . ويمكن أن يكون لعامل القدرة أى قيمة بين صفر ، ١ فى الحالتين الأخيرتين ، كان عامل القدرة صفراً، بينما يكون عامل القدرة ١ فى الدائرة ذات الحمل الأوى البحت .

وفى الحياة العملية ، تبذل محطات القوى كل المحاولات الممكنة لضمان عامل قدرة تكون قيمته أقرب إلى الواحد الصحيح ما أمكن ، حيث أن القدرة الظاهرية المولدة تكون أكبر كلما صغر عامل القدرة ، ويمكن تحسين عامل القدرة لتركيبه كهربائية بواسطة تدايير مناسبة .



شكل ١٩٥ : فرق الطور لأحمال سعوية بحتة وحثية بحتة

- ١ - منحنى القدرة بحمل حثى بحت .
- ٢ - منحنى القدرة بحمل سعوى بحت .

فثلا ، بإدخال مواسعات إضافية ذات مواسعات عالية ، إذا كان الحمل الحثي عاليا للغاية أو بواسطة الاستخدام الاقتصادي للمحركات الكهربائية والمحولات .

٥/١٢ - التيار المتردد الثلاثي الطور :

(١) تمثيل التيار المتردد الثلاثي الطور :

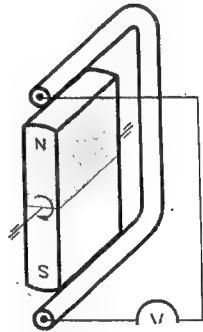
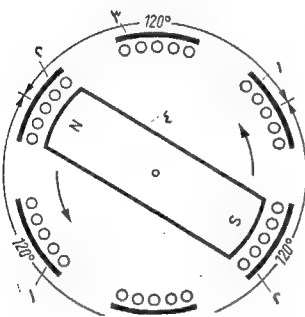
بنيت اعتباراتنا عن التيار المتردد على أساس النموذج البسيط لمولد تيار متردد (انظر الشكل ١٦٧) . ولقد بينت تفسيرات الحث المغنطيسي أنه ليس هناك اختلاف بين تحريك الموصل أو تحريك المغنطيس لإحداث الحث . ويبين الشكل (١٩٦) التمثيل التخطيطي لترتبة لتوليد تيار متردد بدوران مغنطيس بينما يكون الموصل ثابتا .

التيار المتردد الأحادي الطور :

تطور التيار المتردد الأحادي الطور الذي تولد في بداية الكهرباء ، والذي كان موضوع مناقشاتنا السابقة إلى التيار المتردد الثلاثي الطور . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور .

ولهذا المولد ملامح مميزة ، حيث أن لفيفاته الثلاثة موضوعة بحيث يكون بينها تباعد قيمته ١٢٠° .

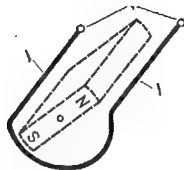
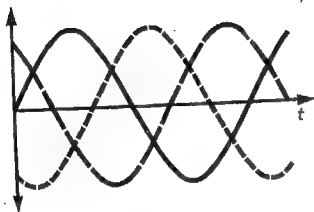
يبين الشكل (١٩٨) التمثيل التخطيطي لترتبة لإحدى هذه اللفيفات .



شكل ١٩٧ : نموذج لمولد تيار متردد ثلاثي الطور

- ١ - لفيفة I (نهايات ش ، س) .
- ٢ - لفيفة II (نهايات ص ، ص) .
- ٣ - لفيفة III (نهايات غ ، ع) .
- ٤ - مغنطيس دوار .

شكل ١٩٦ : تمثيل تخطيطي لترتبة تشتمل على حلقة ثابتة ومغنطيس متحرك



شكل ١٩٨ : وضع الليفة

شكل ١٩٩ : التيار المتردد الثلاثي الأطوار

١ - أجزاء الموصل الفعالة للتحث المغنطيسي الكهربائي .

٢ - التوصيلات (مثل س ، ش) .

عندما يدور المغنطيس في مثل هذا المولد ، تنتج جهود مترددة ، تكون بينها زاوية طور 120° ، وبين الشكل (١٩٩) ثلاث منحنيات لجهد متردد جيبي بينها فرق طور مقداره 120° .

وعند تمثيل لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار بمفاعلات حثية ، وتمثيل الحمل بمقاومات أومية ، نحصل على نظام مفتوح ثلاثي الأطوار (الشكل ٢٠٠) .

ويعتمد التردد الذي يمر به الجهد المتردد والتيار المتردد ، خلال هذا النظام الثلاثي الأطوار ، على عدد أزواج الأقطاب ، أو سرعة الدوران للمغنطيس الدوار . وبالشكل (١٩٧) نموذج لمولد مزود بزوج واحد من الأقطاب (مغنطيس واحد بقطب جنوبي واحد وبقطب شمالي واحد) .

وعليه ، يكون عدد أزواج الأقطاب = ١

وإذا كان التردد ٥٠ د/ث ، تكون سرعة الدوران :

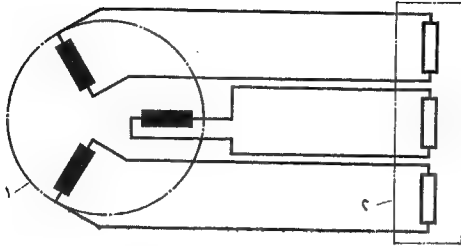
$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times 60}{\text{عدد الأقطاب}}$$

$$= \frac{1}{\text{دقيقة}} \times \frac{60 \times 50}{1} = 3000 \text{ دورة في الدقيقة}$$

يدور العضو الدوار بسرعة ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة لتوليد تردد قيمته ٥٠ د/ث .

مثال :

أوجد سرعة الدوران لمولد رباعي الأقطاب ، مصمم لتوليد تيار ثلاثي الأطوار بتردد $16\frac{2}{3}$ د/ث .



شكل ٢٠٠ :

نظام ثلاثي الأطوار مفتوح

١ - لفيفات المولد .

٢ - حمل على هيئة

مقاومات أومية .

المعطيات : عدد أزواج الأقطاب = ٤

$$\text{التردد} = ١٦ \frac{2}{3} \text{ د/ث}$$

المطلوب : سرعة الدوران

الحل :

$$\text{سرعة الدوران} = \frac{\text{التردد} \times ٦٠}{\text{عدد أزواج الأقطاب}}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times ١٦ \frac{2}{3}}{٤}$$

$$= \frac{١}{\text{دقيقة}} \times \frac{٦٠ \times ٥٠}{١}$$

$$= ٢٥٠ \text{ دورة في الدقيقة}$$

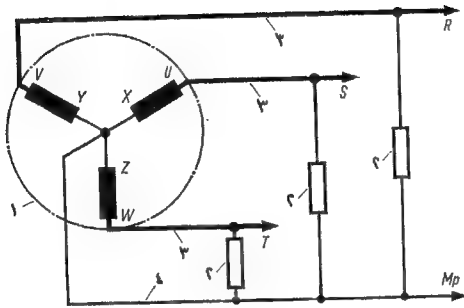
يدور المولد بسرعة ٢٥٠ دورة في الدقيقة .

(ب) الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلات النجمة والدلتا :

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة النجمة :

يحتاج النظام المفتوح الثلاثي الأطوار إلى ستة خطوط لنقل القدرة الكهربائية . وعلى كل ، فعند توصيل لفيفات المولد توصيلاً متداخلاً ، يكتب بأربعة خطوط بمجهدين مختلفي القيمة .

وسيوخذ في الاعتبار هنا يمثل هذا النظام ذي الأربعة أسلاك . يبين الشكل (٢٠١) اللفيفات الثلاثة لمولد ، مرتبة ترتيباً يعرف بتوصيلة النجمة ، أو توصيلة Y . وتوصل الأسلاك المرققة للتمييز بينها بالرمز X ، ص Y ، ع Z ، إلى نقطة توصيل نجمة أو نقطة تعادل .



شكل ٢٠١ : نظام أربعة أسلاك في توصيلة نجمة

١ - لفيفات المولد .

٢ - حمل على هيئة مقاومات أومية ، نقطة تعادل ن .

٣ - موصلات خارجية ر ، ت ، س ، ث

نفرض أن هذا النظام ذو الأربعة أسلاك حمل بمقاومات أومية .

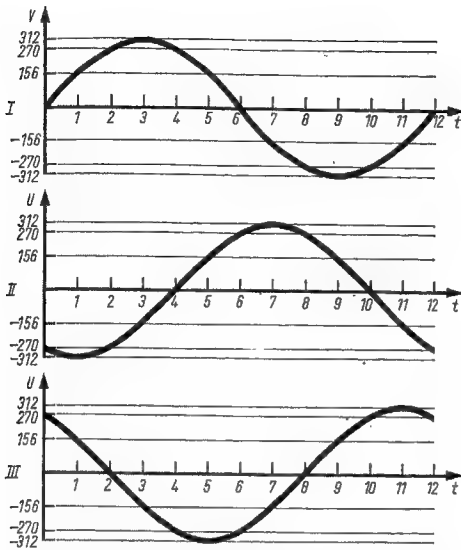
وعادة يمكن إعتبار مساحة المقطع المستعرض لموصل التعادل أصغر من الأسلاك الخارجية . والسبب في هذا مبين بالشكل (٢٠٢) الذي يشمل جدولاً به حاصل جمع الجهود الجزيئية في نفس الأطوار .

يبين هذا الجدول ، أنه في أي لحظة ، يكون مجموع الثلاثة جهود في توصيلة نجمة مساوياً لصفر .

وإذا كان الحمل على الموصلات الخارجية هو نفسه في جميع الحالات الثلاثة (وهذا نادراً ما يحدث عملياً) ، يكون مجموع التيارات الثلاثة مساوياً لصفر أيضاً ، كما لا يحمل موصل التعادل تياراً . وحيث أنه ، على أية حال ، تكون الأحوال دائماً غير متساوية فإنه يمر دائماً تيار رجوع معين خلال موصل التعادل .

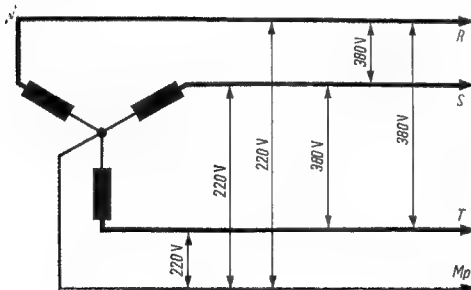
ويوصل عادة موصل التعادل بالأرض ، أي أنه يكون هناك توصيل كهربائي بين نقطة التعادل والأرض الرطبة . وهذا التدبير ضروري لتوفير الوقاية ضد اللمس العارض (التآريض الواقى) .

وإذا كان لفيفات الثلاثة لمولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، نفس المقتن ، يكون للجهود المنتجة في هذه اللفيفات نفس القيمة . ويسمى الجهد المنتج بالحث « جهد الطور » ، أو جهد « النجمة » أو « جهد V » أو « جهد Y » وينطبق التعبيران الأخيران على توصيلات النجمة فقط . ومن هذا



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	156	270	312	270	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0
II	-312	-270	-156	0	156	270	312	270	156	0	-156	-270
III	156	0	-156	-270	-312	-270	-156	0	156	270	312	270
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شكل ٢٠٢ :
منحنيات الجهد والتيار
متردد ثلاثي الأطوار
وحاصل جمعها

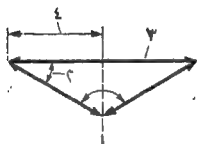


شكل ٢٠٣ :
شروط الجهد في أنظمة
الأربعة أسلاك
ج = ٢٢٠ فولت .
ج خط = ٣٨٠ فولت .

ينتج أن جهود الأطوار الثلاثة تكون متاحة، وهي J_N و $(J_M - R)$ ، J_N ، J_M (نقطة الوسطى ، ويقصد بها هنا موصل التعادل). وعلاوة على ذلك ، يعطى نظام الأربعة أسلاك ثلاثة جهود بين الخطوط $J_{خط}$ أو يعطى جهوداً بين طور و طور وهي J_{RS} ، J_{TC} ، J_{ST} . وإذا كانت القيمة الفعالة لجهود الطور هي ٢٢٠ فلف ، على سبيل المثال ، يكون الجهد بين طور و طور $J_{خط} = ٣٨٠$ فلف .

يبين الشكل (٢١٣) جهود نظام ذو أربعة أسلاك .

ويمكن إيجاد العلاقة العامة بين $J_{خط}$ و $J_{طور}$ بواسطة مثلث الجهد (الشكل ٢٠٤) .



$$J_{خط} : J_{طور} = ٣ : ٢$$

$$J_{خط} = ٢ \times J_{طور} \times \frac{١}{٣}$$

$$J_{خط} = ٢ \times J_{طور} \times \frac{١}{٣}$$

$$J_{خط} = ٢ \times J_{طور}$$

$$J_{خط} = ١,٧٣ \times J_{طور}$$

شكل ٢٠٤ : مثلث الجهد لجهود الأطوار $J_{طور}$ بينها فرق طور ١٢٠°

١ - جهود الأطوار $J_{طور}$ بينها فرق طور ١٢٠°

٢ - زاوية ٣٠°

٣ - جهد الخط $J_{خط}$

$$J_{خط} = ٢ \times J_{طور}$$

الجهود بين طور و طور ، في نظام ثلاثي الطور ، في توصيلة نجمة تساوى ١,٧٣ مرة جهد الطور $J_{طور}$.

ولقد أفادنا النظام الثلاثي الأطوار بأربعة أسلاك في تكوين ترتيبات الدائرة الآتية :

توصيلة أحادية الطور : تركيبات الإضاءة ، الأجهزة الكهربائية المنزلية ، المحركات الكهربائية
الموصلة بين الموصل الخارجي وموصل التعادل .

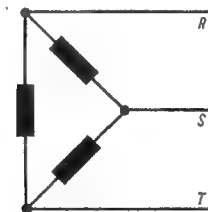
توصيلة ثنائية الأطوار : المحركات الكهربائية للتشغيل الثقيل بالتيار المتردد موصلة بين
موصلين خارجيين .

توصيلة ثلاثية الأطوار : المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار ووحدات التسخين الصناعية ذات
الحرج العالي ، الموصلة بين الموصلات الخارجية الثلاثة .

الترابط المتبادل بين الأطوار في توصيلة الدلتا :

يبين الشكل (٢٠٥) مثالا لمولد في توصيلة دلتا . ومن الواضح أنه يلزم لذلك ثلاثة موصلات
خارجية (R ، S ، T) . وتبعا لذلك يكون لفروق الجهد بين هذه الموصلات الخارجية
نفس القيمة . وعلى كل ، لا يطبق ذلك على شدة التيار في دائرة كهربائية مقفلة (والدائرة
المقفلة تعبر آخر لتوصيلة الدلتا) . ودائما ، تصبح قيم شدة التيار لتيارات الأطوار فعالة ، كما هي
الحال بالنسبة للجهود في توصيلة النجمة ، وعليه فإن :

$$I_{خط} = \sqrt{3} I_{طور} ، I_{خط} = 1,73 \times I_{طور}$$



شكل ٢٠٥ : توصيلة الدلتا

شدة تيار الموصل $I_{خط}$ في نظام ثلاثي الطور في توصيلة دلتا تساوي ١,٧٣ مرة شدة تيار
الطور .

مسألة :

قيست شدة تيار T فكانت ١٢٠ أمبير بين الموصلات الخارجية لمولد توصيلة دلتا .
أوجد شدة التيار في لفيفة واحدة ؟ .

المعطيات : تيار الموصل ت خط .

المطلوب : تيار الطور ت طور

الحل :

$$I_{\text{خط}} = I_{\text{طور}} \times \sqrt{3}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} , \quad I_{\text{طور}} = \frac{120}{1.73} \text{ أمبير}$$

$$I_{\text{طور}} \approx 70 \text{ أمبير}$$

لقيمات المولد محملة بتيار قيمته حوالى ٧٠ أمبير

(ج) القدرة في دائرة تيار متردد ثلاثي الأطوار :

نص في (القسم الأول - الفصل الثاني عشر) ، على أن القدرة الفعالة لتيار متردد أحادي الطور ، تعطى بالعلاقة :

$$P = I \times V \times \cos \phi$$

وبافتراض أن الأحرف المستخدمة كرموز في العلاقات هي للجهود والتيارات أو القدرات الفعالة دون الإشارة إلى ذلك ، تحسب القدرة لكل طور من :

$$P_{\text{طور}} = I \times V \times \cos \phi$$

ولتيار المتردد الثلاثي الأطوار :

$$P_{\text{د}} = \sqrt{3} \times I \times V \times \cos \phi$$

ولنبحث الآن عن التأثير الذى تبسّله ترتيبية الدائرة الكهربائية المعطاة على تعيين القدرة في نظام تيار متردد ثلاثي الأطوار :

توصيلة دلتا

توصيلة نجمة

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} \quad I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

$$I_{\text{طور}} = \frac{I_{\text{خط}}}{\sqrt{3}} \quad I_{\text{طور}} = I_{\text{خط}}$$

ومن هذا ينتج :

$$\Phi \times \text{جتا} \times \frac{\text{ج خط}}{3\sqrt{3}} \times 3 = \text{قد}$$

$$\Phi \times \text{جتا} \times \frac{\text{ت خط}}{3\sqrt{3}} \times 3 = \text{قد}$$

وباختصار كلتا المعادلتين نحصل على التعبير العام للقدرة للتيار المتردد ثلاثى الطور :

$$\Phi \times \text{جتا} \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times \sqrt{3} = \text{قد}$$

$$\Phi \times \text{جتا} \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times 1,73 = \text{قد}$$

مثال :

ما القدرة المحولة في نظام تيار متردد ثلاثى الطور ، إذا كانت شدة التيار المقاسة ١٣٠ أمبير ، عند جهد بين طور وطور قيمته ٣٨٠ فلت ؟ وكانت قراءة جهاز قياس عامل القدرة هي ٠,٧٨ .

المعطيات : $\text{ج خط} = 380$ فلت

$\text{ت خط} = 130$ أمبير

$\Phi = 0,78$

المطلوب : القدرة قد

الحل :

$$\Phi \times \text{جتا} \times \text{ج خط} \times \text{ت خط} \times 1,73 = \text{قد}$$

$$0,78 \times 130 \times 380 \times 1,73 = \text{قد}$$

$$\text{قد} = 63,466 \text{ واط ، قد} = 63,466 \text{ كيلو واط}$$

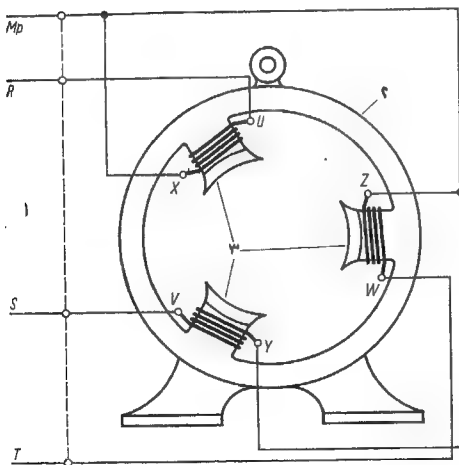
القدرة في هذه الدائرة الكهربائية للتيار المتردد ثلاثى الأطوار ٦٣,٥ كيلو واط تقريبا .

(د) المجالس الدوار :

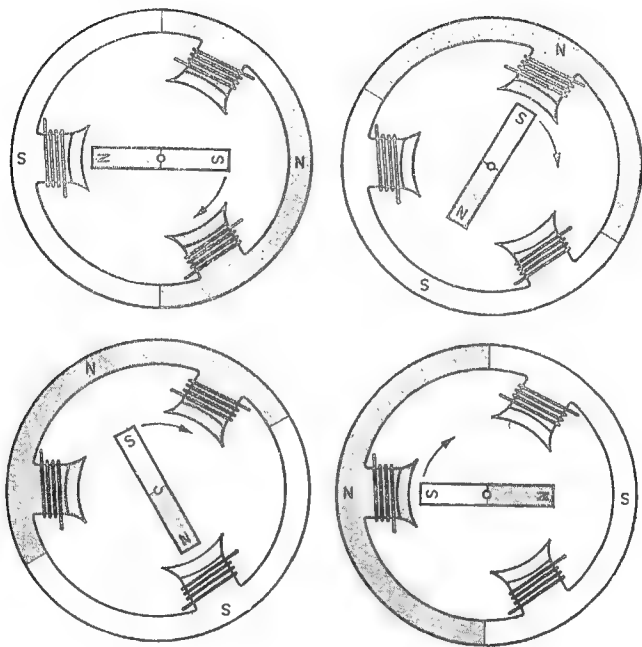
يصاحب التيار المتردد ثلاثى الأطوار ظاهرة تؤخذ في الاعتبار . حيث أنها ذات فوائد خاصة للاستخدام التجارى لهذا النوع من التيار . ويفسر هذا فيما يلي :

عند دراسة جواهر المغناطيسية الكهربائية ، ناقشنا العلاقة بين اتجاه التيار ونوع القطب المغناطيسي في الملفات الحاملة للتيار .

ويمكن إعتبار لفيفات مولد تيار متردد ثلاثي الأطوار ، على أنها ملفات ذات قلب حديد ينتج بالحث فيها جهد ، وفي نفس الوقت يتكون مجال مغناطيسي حول هذه الملفات . وبمساعدة الشكل (١٩٧) نتفهم بسهولة ، أنه إلى جانب المجال المغناطيسي للمغنطيس الدوار ، يدور مجال مغناطيسي آخر في الجزء الثابت من المولد ، أي عند أقطاب اللفيفات . ولهذا المجال الدوار الثاني أهمية غير ذات بال بالنسبة للمولد نفسه . وعلى كل ، فإن لهذه الظاهرة التي تسمى « المجال الدوار » ، أهمية خاصة بالنسبة للمحرك الكهربائي . بالشكل (٢٠٦) تمثيل تخطيطي للجزء الثابت (العضو الساكن) لمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار ، موصل بنظام ذي أربعة أسلاك . وتكون اللفيفات متباعدة بعضها عن بعض بزاوية مقدارها 120° . وعندما تشغل ترتيبية الدائرة هذه فإن المجالات المغناطيسية ذات القطبية المغناطيسية المترددة والتي تتبع دورية التردد تتكون عند رؤوس الملفات .



شكل ٢٠٦ : عضو ساكن ذو ثلاثة ملفات موصل بنظام ذي أربعة أسلاك
١ - نظام ذو أربعة أسلاك.
٢ - جسم من حديد مغناطيسي.
٣ - ملفات .



شكل ٢٠٧ : يبين هذا الشكل كيفية إنتاج مجال دوار بالحث

يبين الشكل (٢٠٧) نصف دورة لمجال دوار في مثل هذه الترتيبية ، وتتبع إبرة منقطيسية مركتزة عند مركز العضو الساكن هذا المجال الدوار (التي تساوى سرعة دورانه حوالى ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة ، عند تردد 50 د/ث) .

ولقد أمكن الانتفاع بفوائد المجال الدوار في المحركات الكهربائية الثلاثية الأطوار اللازمة .
وسيناقش كل ما يتعلق بهذه المحركات الكهربائية ، الأكثر شيوعا في الاستخدام في الصناعة ،
في الجزء الثاني .

القسم الثاني

تمهيد لقياسات الكميات الكهربائية

المفصل الأول

الاختبار والقياس

يميز بين الاختبار والقياس في الهندسة الكهربائية ، كما هي الحال في مجالات الهندسة الأخرى .

يعرف الاختبار بأنه طريقة لتعيين حالة أو ظرف . ومثال لذلك ، هل هناك جهد أم لا ؟ (نعم أم لا) هل هناك قطع في الخط (نعم أم لا) ؟

وبالقياس نتأكد من قيمة كمية كهربائية . ويعبر عن كمية كهربائية بقيمة عددية مضروبة في الوحدة .

أمثلة :

الوحدة	القيمة العددية	الكمية
فلط (٥ فلط)	٥	الجهد
أمبير (١٢٥ أمبير)	١٢٥	شدة التيار
أوم (٢٥ كيلو أوم)	٢٥٠٠٠	المقاومة

عند اختبار تركيبات أو معدات كهربائية ، تعين الشروط الكهربائية أو التشغيلية . وبالقياس تعين الكميات الكهربائية ، أو يتم التأكد من قيمها .

الفصل الثانى

معدات الاختبار البسيطة وتطبيقاتها

عند القياس يميز بين :

اختبار الجهد ،

و اختبار الإستمرارية .

وعند إختبار نظام جهد ، يفترض أنه يتمدى ٤٢ فلت ، يجب استخدام معدات إختبار صممت لهذا الغرض . وتكون معدات الإختبار التى يصنعها الفرد ، والتى تكون على هيئة دواة بها مصباح ، وأسلاك توصيل ، مصدراً للخطر .

١/٢ - إختبار الجهد بواسطة معين القطب ومبين الجهد :

(١) الإختبار بواسطة معين القطب :

يبين الشكل (٢٠٨) التمثيل التخطيطى لمبين القطب ، والذي يعرف أيضاً بمبين القطبية ، ويصلح للجهد بين ١٠٠ فلت ، ٢٥٠ فلت . وعادة يكون طرف اختباره على شكل سن مفك لى يمكن إستخدامه كأداة .

يوضع المصباح المتوهج فى نطاق الجهد المعين ، إذا لمس طرف الإختبار جزءه مكهرب (على سبيل المثال ، إذا لمس طرف الإختبار طرف أو ملاس مفتاح كهربائى) . بينما يلمس الشخص المختبر ملاس الإصبع . وعند جهد حوالى ١٠٠ فلت يشع المصباح المتوهج ضوءاً خافتاً نسبياً عنه عند جهد ٢٢٠ فلت .

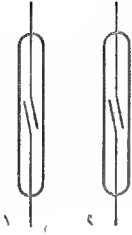
وبجانب إختبار وجود ، أو عدم وجود جهد ، يمكن إستخدام معين القطب للتأكد من نوع الجهد إذا كان مستمراً أو متذبذباً ، على حسب الحالة . ويبين الشكل (٢٠٩) المصباح المتوهج عند الجهد المستمر (١) ، وعند الجهد المتردد (٢) .



١ - طرف الاختبار . ٣ - مصباح متوهج .

٢ - مقاومة (حوالى ٢ إلى ٣ ميجا أوم) . ٤ - ملاس إصبع .

شكل ٢٠٩ : إشارة من المصباح المتوهج عند أنواع مختلفة من الجهد
١ - إشارة في حالة التيار المستمر .
٢ - إشارة في حالة التيار المتردد .



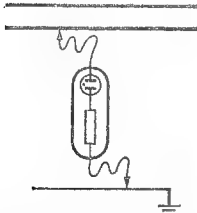
ف عند الجهد المستمر يشع الضوء إلكترونات واحد من المصباح المتوهج ، وفي حالة الجهد المتردد يشع الضوء الإلكترونات بالتناوب .
وحيث أنه لا يمكن لأعيننا تتبع الضوء أثناء تناوبه دورياً ، عند التردد المعطى ، لذا ، يظهر هذا الضوء لأعيننا منتظماً بين الإلكترونات .

(ب) الاختبار بواسطة مبيان الجهد :

يطبق أساس تشغيل معين القطب أيضاً بالنسبة لمبيان الجهد ، مع عدم وجود ملاس إصبع ، ولكن يستخدم بدلاً منه ، طرف اختبار معزولين ، لإختبار الشيء المراد اختباره . وبين الشكل (٢١٠) استخدام مبيان الجهد . في اختبار جهد بين الخطوط لمخرج مقبس . ويمكن استخدام نفس طريقة الاختبار ، للتأكد من سلامة صندوق التوصيل ، أو مفتاح كهربائي ، أو شريحة طرفية في محرك كهربائي أو لوحة مفاتيح كهربائية .

وهناك طريقة أخرى للاختبار ، وهي الاختبار بالنسبة للأرض (الشكل ٢١١) . ويصبح مثل هذا الاختبار ضرورياً لمعرفة أى خط (من عدة خطوط) يوصل الكهرباء للأرض . ومثال لذلك ، فإنه من الضروري إجراء مثل هذا الاختبار ، لمعرفة أى خط يكون موصل التعادل لتوصيلة بمجه ٢٢٠ فلت في نظام بأربعة أسلاك (لا يحدث هذا الخط عند اختباره تشغيل لمبيان الجهد) .
٢ | ٢ - اختبار الإستمرارية بواسطة معدات اختبار بسيطة :

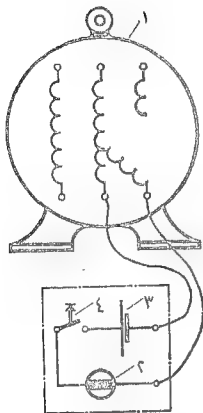
تكون أى تركيبات كهربائية أثناء تشغيلها دائرة كهربائية مغلقة . وتفشل دائرة كهربائية أو أى معدات كهربائية في التشغيل الصحيح ، إذا كانت هناك على سبيل المثال دائرة قصر ، أو تسرب للأرض ، أو سلك مقطوع ، أو توصيلة خاطئة ، أو تلامس خاطئ .



شكل ٢١١ : اختبار الخط للأرض بواسطة مبيان الجهد

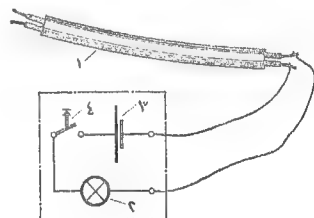


شكل ٢١٥ : اختبار الخط للخط بواسطة مبيان الجهد



شكل ٢١٢ : اختبار استمرارية خط بواسطة زنان

- ١ - عينة اختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .
- ٢ - زنان .



شكل ٢١٤ : اختبار قصر

اللفات لمحرك كهربائي

- ١ - عينة اختبار .
- ٢ - إشارة مرئية .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .

شكل ٢١٣ : اختبار دائرة قصر في كبل

- ١ - عينة اختبار .
- ٣ - مصدر للجهد .
- ٤ - مفتاح كهربائي بذراع .
- ٢ - مصباح متوهج .

ويمكن عادة تعقب مصاعب من هذا النوع بواسطة إختبارات الإستمرارية ، وتجربى عندما تكون التركيبات أو المعدات غير مكهربة . وتتكون معدات الإختبار البسيطة من مصدر للجهد (عادة عمود جلفاني) ومبين كصباح متوهج أو إشارة مرئية أو زنان .

ويمكن اختبار أجزاء التركيبات أو المعدات التي بها مقاومات كهربائية منخفضة بواسطة مصابيح متوهجة وزنان . ويجب إختبار المعدات التي يتوقع إحتواؤها على مقاومات أعلى ، بواسطة إشارات مرئية ، نظراً لأن لها دخل قدرة منخفض ، وتعمل على شدة تيار صغيرة جداً .

وتبين الأشكال من (٢١٢) إلى (٢١٤) بضع أمثلة لاختبارات الإستمرارية .

الفصل الثالث

تصنيفات وتصميمات وتطبيقات أجهزة القياس الكهربائية

لقد أشر في مجال شرح العلاقات المتبادلة بين شدة التيار ، والجهد ، والمقاومة (القسم الأول - الفصل الخامس) ، إلى الأميترات والفولطمترات ، دون التعرض لتفاصيل تصميماتها ، وطرق تشغيلها . وفيما يلي وصف لأهم أجهزة القياس المستخدمة في الهندسة الكهربائية وأدائها .

ويلعب قياس الكمية الكهربائية دوراً هاماً في الهندسة الكهربائية بالرغم من تشابه غالبية أجهزة القياس ببعضها البعض ، ومع الأخذ في الاعتبار لأساس تشغيلها ، إلا أنها تختلف في بعض الأحيان ، اختلافاً كبيراً بالنسبة لمدى القيم العددية للكميات المراد قياسها ، وبالنسبة لدقة القياسات ، ولطرق القياس .

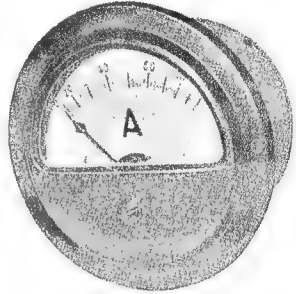
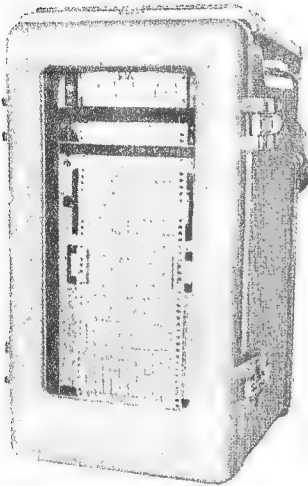
١/٣ - الكميات المراد قياسها - أجهزة القياس :

فيما يلي حصر لبضع كميات يراد قياسها ، وأجهزة القياس المناسبة للفرض المطلوب :

الكمية المراد قياسها	جهاز القياس
شدة التيار	أميتر ميزان أمبير
الجهد	فولطمتر جهاز قياس فرق الجهد المطلق
المقاومة	أوميتر جلف متقاطع ، قنطرة قياس مقاومة .
التردد	جهاز قياس التردد بريشة
القدرة	واطمتر

٢١/٣ - تصميم ودقة قياسات أجهزة القياس :

يراعى عند طلب أجهزة القياس ، أن يكون هذا الطلب محددًا بدقة بقدر الإمكان (وبغض النظر عن الكميات المراد قياسها) . كما تطلب أجهزة القياس ذات التطبيق الواسع المدى . وقد وضعت تصميمات متعددة لأجهزة القياس ، في مراحل تطورها .



شكل ٢١٥ : جهاز بيان كهربائي
(VEB Elektro Apparate- Werk
Berlin-Treptow G D R)

شكل ٢١٦ : جهاز مسجل

وفيما يلي وصف لأكثر هذه الأجهزة شيوعاً
في الإستخدام :

أجهزة بيان كهربائية :

وتبين القيمة للكمية المراد قياسها بواسطة مؤشر ينحرف على تدريج (الشكل ٢١٥) .

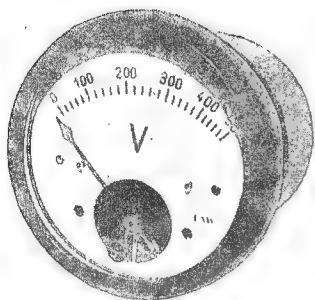
أجهزة مسجلة كهربائية :

وتسجل نبيلة تسجيل ، تناظر حركتها انحراف مؤشر ، القيمة المقاسة للكمية المراد قياسها ،

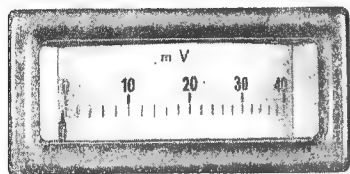
على شريط من الورق ، يتحرك بسرعة ثابتة (الشكل ٢١٦ و الشكل ٢١٧) .

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية :

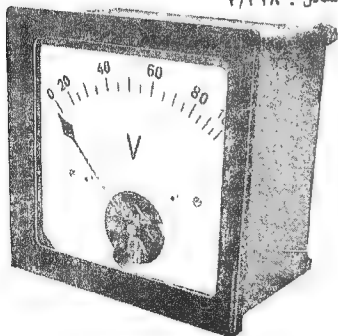
تصمم هذه الأجهزة للتركيب في خلايا لوحات التشغيل الكهربائية وللإستخدام الثابت .
ولأجهزة القياس ذات التصميم القديم منها شكل مستدير عادة ، بينما يكون للأجهزة الحديثة منها
شكل مستطيل أو مربع (الشكل ٢١٨) .



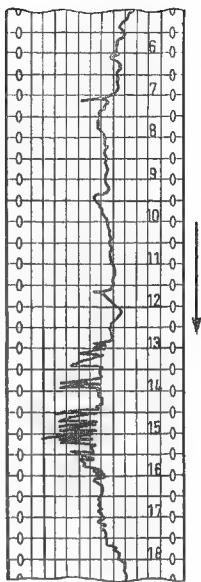
الشكل : ١/٢١٨



الشكل : ٢/٢١٨



الشكل : ٣/٢١٨



شكل ٢١٧ : رسم بياني لسجل للدرية
(الأرقام تبين الزمن)

شكل ٢١٨ :

أجهزة لوحات التشغيل الكهربائية

١ - شكل مستدير .

٢ - شكل مستطيل .

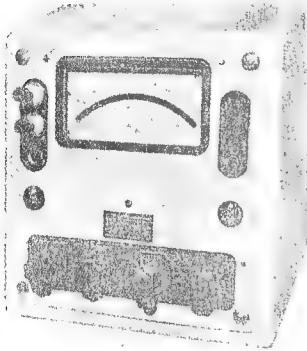
٣ - شكل مربع .

أجهزة نقل كهرائية :

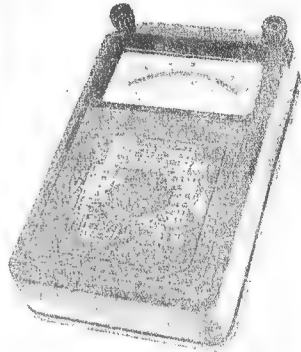
وتستخدم في التركيبات الكهرائية وأغراض الإصلاح . وهناك عدة تصميمات لأجهزة القياس النقل ، مناسبة لقياس عدة كيات (أجهزة قياس متعددة الغرض) (الشكل ٢١٩) .

أجهزة قياس كهرائية معملية :

ويجب أن تفي باحتياجات الطلاب الدقيقة ، من حيث دقة القياس ، ودقة القراءة . وعادة ، تكون تدريج مثل هذه الأجهزة مركبة على مرايا . وتكون أجهزة القياس المعملية من النوع النقل . (الشكل ٢٢٠) .



شكل ٢٢٠ : أجهزة قياس معملية



شكل ٢١٩ : جهاز نقل

(١) دقة القياس :

يميز بين الأجهزة الدقيقة والأجهزة الصناعية (التجارية) ، كما تصنف هذه الأجهزة طبقاً لحدود الخطأ . ويعبر عن حدود الخطأ على المدى الفعال بنسبة مئوية من مدى التدريج . وقد قسمت الأجهزة إلى مجموعات تبعاً لهذه القيم المسموح بها .

١ ١,٥ ٢,٥ ٥

١ ٢,٥ ٥

درجة الدقة

١ ١,٥ ٢,٥ ٥

١ ٢,٥ ٥

التأثير على النتيجة (في المائة)

أجهزة صناعية (تجارية)

أجهزة دقيقة

ويبين تأثير درجة دقة جهاز القياس على النتائج بالمثال التالي :

مقال :

ما حد الخطأ مبرراً عنه في المائة لفلطمر ، درجة دقته ٢,٥ ، وله مدى تدريج ١٠٠ فلط ؟

الجهد (بالفلط)	الإخراغ (بالفلط)	حدود الخطأ (نسبة مئوية)
١٠٠	± ٢,٥	٢,٥٠
٨٠	± ٢,٥	٣,١٢
٦٠	± ٢,٥	٤,١٦
٤٠	± ٢,٥	٦,٢٥
٢٠	± ٢,٥	١٢,٥٠
١٠	± ٢,٥	٢٥,٠٠

وتؤدي هذه الأجهزة إلى إغراغات تؤخذ في الاعتبار في المدى المنخفض ، ولهذا السبب يجب إستخدام المدى العلوى فقط للجهاز في القياس . ويجب تجنب قياسات الجهد في المثال المعطى عاليه للقيم أقل من ٨٠ فلط .

٣/٣ - آليات الحركة لقياس الجهد وشدة التيار :

(١) ملاحظات عامة على شكل آلية الحركة لأجهزة القياس :

تبنى آليات الحركة ، الأكثر شيوعاً في الإستخدام ، على أساس المغنطيسية الكهربائية . وتبذل المجالات المغنطيسية قوة على جسم متحرك ، يكون تحركه (إغراغه) هو قياس للكمية المراد قياسها . وتستخدم قلة من أجهزة القياس القوى الموجودة بين الشحنات الكهربائية الإستاتيكية . (مثال لذلك جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي المطلق ، المين وصفه بالقسم الأول - الفصل الثالث) . ونادراً ما يستخدم التأثير الحراري للتيار الكهربائي في أغراض القياس . وفي هذه الأجهزة تكون إستطالة معدن معرض للحرارة هي القياس للكمية المراد قياسها .

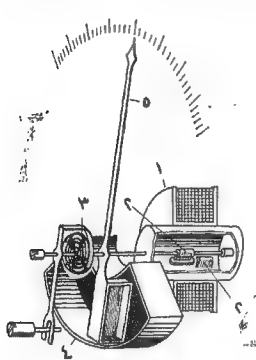
(ب) أجهزة القياس بجهدية متحركة :

تبنى آليات حركة أجهزة القياس هذه على حركة ملفات مفلطحة ، أو ملفات مستديرة .
آليات حركة الملفات المفلطحة :

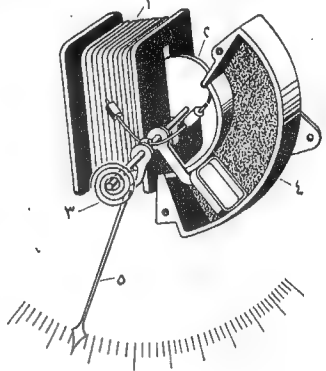
بالشكل (٢٢١) تصميم لآلية حركة ملفات مفلطحة . يلف ملف بطريقة ما ، بحيث تكون لفتحته شكل الشق . يوضع لوح صغير من الحديد أمام هذا الشق بحيث يكون حر الدوران ، وبحيث يكون مزوداً بمؤشر ، وبزبرك لوابي للحركة المرتجعة . توصل نبيطة مضادة مع لوح الحديد الصغير ، لضمان تحرك المؤشر بنعومة . ويستخدم في هذه الحالة نظام مضادة هوائي . وعندما يمر تيار عبر الملف المفلطح ، يسحب اللوح الحديد داخل شق الملف إلى مدى معين .

وبإجراء قياسات مقارنة ، يقسم التدريج بحيث تكون المسافة التي يقطعها لوح الحديد متناسبة مع شدة التيار أو الجهد .
آليات حركة الملفات المستديرة :

بالشكل ٢٢٢ تصميم آلية حركة ملف مستدير . وتميز عن آلية حركة الملف المفلطح في شكلها وباستخدامها للتناثر المغناطيسي . فيوجد لوح حديدي صغير ثابت وآخر متحرك في الحيز الداخلي الكروي لصندوق الملف ، ويزود هذا الأخير بمؤشر وزنبرك لولبي وبنظام مضادة هوائي .



شكل ٢٢٢ : جهاز قياس بحديدية متحركة
بملف مستدير
١ - ملف مستدير .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - زنبرك لولبي .
٤ - نظام مضادة هوائي .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .



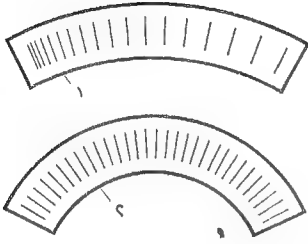
شكل ٢٢١ : جهاز قياس بحديدية
متحركة بملف مفلطح
١ - ملف مفلطح .
٢ - لوح حديد صغير .
٣ - زنبرك لولبي .
٤ - نظام مضادة هوائي .
٥ - مؤشر يتحرك على تدريج .

عندما يمر تيار خلف الملف يتمغنط اللوحان الصغيران بفيض من نفس الاتجاه بحيث يتنافران مع بعضهما البعض ، وهذا بسبب انحراف المؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بحديدية متحركة :

تكون آليات الحركة هذه مناسبة للتيار والجهد المستمر ، والتيار والجهد المتردد . ويكون لأجهزة القياس بحديدية متحركة ذات التصميمات القديمة أقسام تدريج لوغاريتمية (الشكل ٢٢٣ - ١) ، بينما تكون أجهزة القياس الحديثة منها مزودة بأقسام تدريج خطية (الشكل ٢٢٣ - ٢) .
٢٠٩

ويمكن الحصول على تدريج خطى بتشكيل خاص للوح الحديد حيث أن عزم اللى يتناسب مع مربع شدة التيار .

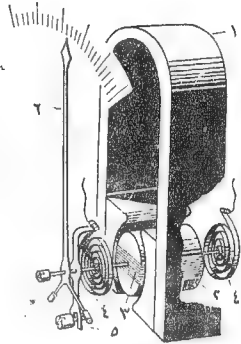


شكل ٢٢٣ : أقسام التدريج

- ١ - قسم مربع .
- ٢ - قسم خطى .

شكل ٢٢٤ : جهاز قياس ملف متحرك

- ١ - مغنطيس بشكل حدوة حصان بأطراف قطب .
- ٢ - قلب حديد .
- ٣ - ملف متحرك .
- ٤ - زنبركات لولبية .
- ٥ - تصحيح الصفر .
- ٦ - مؤشر يتحرك على تدريج .



وتكون القدرة التي تتطلبها آلية التحريك هذه عالية نسبياً ، ولهذا السبب لا يمكن استخدامها لقياس جهود وشدة تيارات منخفضة للغاية ، علاوة على أن آليات الحركة هذه يتوقف عملها على التردد ، وهذا يعنى أن مقاومتها تتغير بتغيرات التردد ، لهذا السبب فإن أغلب استخدامات أجهزة القياس بمحيدة متحركة ينحصر في دوائر التيار المتردد (تردد ٥٠ هز) . وهذه الأجهزة غير مناسبة للقياسات عند مدى الترددات العالية .

(ج) أجهزة القياس بملف متحرك :

يبين الشكل ٢٢٤ تصميماً لجهاز قياس بملف متحرك . يوضع قلب حديد مستدير في نطاق شبال حدوة حصان مغنطيسى دائم ، تزود نهايتها بأطراف أقطاب ، وتكون لكثرة الهواء بين أطراف القلب والقلب الحديدى ما يسمى بالجال المغنطيسى المتجانس في اتجاه نصف القطر . يركب في ثغرة الهواء هذه ملف ملفوف على قاعدة من معدن خفيف الوزن ويزود بحور هذا الملف بمؤشر .

بغذى التيار خلال زنبركين لولبيين هما لفات ملفوفة باتجاه عكسي : ويمكن بواسطة هذين الزنبركين ضبط وضع الصفر .

وعندما يسرى تيار مستمر في الملف ، ينتج عزم لي يتوقف لإتجاهه على إتجاه التيار ، حيث أن قطبية المغنطيس تبقى كما هي دون تغير . وإذا كان الصفر ، على سبيل المثال ، على الجانب الأيسر للتدريج ، تتلف آلية الحركة عند تعريضها لحمل ذي إتجاه تيار خاطئ ، ولفترة طويلة .

تطبيقات أجهزة القياس بملف متحرك :

يكون أساس عمل أجهزة القياس بملف متحرك بحيث تكون هذه الأجهزة مناسبة فقط للتيارات والجهود المستمرة ، وحيث أن آلات الحركة هذه تكون عالية الحساسية الكهربائية ، بحيث تكون متطلبات قدراتها منخفضة للغاية (حوالى ٠,٠٠١ مللى أمبير عند انحراف كامل على التدريج) ، فستستخدم أجهزة القياس بملف متحرك أيضا للتيار المتردد ، ويتحقق هذا بمساعدة مقومات أجهزة . تحول هذه التبايط التيار المتردد إلى تيار مستمر ، وسنناقش كيفية تشغيلها فيما بعد بهذا القسم .

وحيث أن المجال المغنطيسي لجهاز القياس بملف متحرك يكون ثابتا ، لذا يتوقف عزم اللي تماما على شدة التيار للملف المتحرك ، ويتناسب عزم اللي مع شدة التيار ، ولهذا السبب تزود أجهزة القياس هذه بأقسام خطية للتدريج .

وتستخدم عادة الملفات المتحركة في أجهزة القياس الدقيقة ، كما تستخدم فيها عادة مضادة التيار الدوامي . وتضاد المجالات المغنطيسية الدوارة التي تتكون في قاعدة الملف المعدنية الخفيفة الوزن الحركة الدوارة للملف .

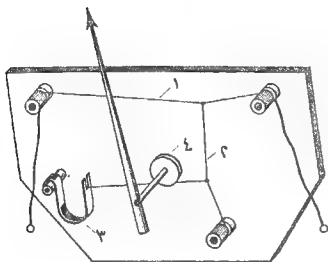
(د) أجهزة القياس بسلك ساخن :

يبين الشكل ٢٢٥ التصميم الأساسي لجهاز قياس بسلك ساخن . يمر تيار خلال سلك تسخين من سبيكة خاصة ، فيتمدد هذا السلك بالتسخين . ويتحرك سلك توتر موضوع بين زنبرك توتر وسلك التسخين ، وذلك نتيجة لتمدد السلك الأخير (يستطيل سلك التسخين ، بينما ينكمش الزنبرك) . وتنقل حركة سلك التوتر إلى بكرة مزودة بمؤشر .

تطبيقات أجهزة القياس بسلك ساخن :

هذه الأجهزة مناسبة للجهود المستمرة والتيار المستمر ، وكذلك للجهود المتردد والتيار المتردد . وغالبا تكون متطلبات القدرة لأجهزة القياس هذه عالية نسبيا ، وهذا يعنى أنه يمكن إستخدامها فقط عند قياس تيارات وجهود عالية . ومن مضار هذا النوع من أجهزة القياس توليد كمية كبيرة نسبيا من الحرارة (حوالى ٣٠٠°م) ، إلى جانب الحساسية الشديدة للتحديد . إلا أن آلية الحركة هذه فائدة عدم الإعتماد على التردد .

وحيث أن الحرارة المتولدة تتناسب مع مربع شدة التيار ، إذا يزود جهاز القياس هذا بأقسام تدريج لوغاريتمية .



شكل ٢٢٥ : تمثيل تخطيطي لجهاز قياس بسلك ساخن

- ١ - سلك تسخين .
- ٢ - سلك توتر .
- ٣ - زنبرك توتر .
- ٤ - بكرة بمؤشر .

وأحيانا تزود أجهزة القياس بسلك ساخن بأنظمة مضادة للتيار الدوامي . وقد أصبحت هذه الأجهزة ، في يومنا هذا ، غير شائعة الاستخدام .

(٥) أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

سبق وصف الإلكتروسكوب (المكشاف الكهربائي) وجهاز قياس فرق الجهد في مجال الحديث عن الشحنات الإستاتيكية الكهربائية (القسم الأول - الفصل الثالث) . وهذا وصف لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح ، و لآلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الاسطوانية .

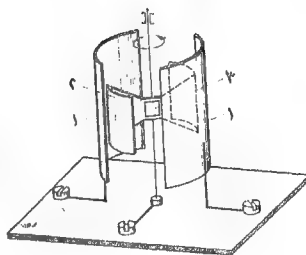
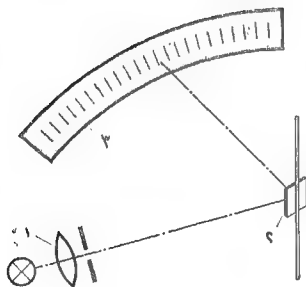
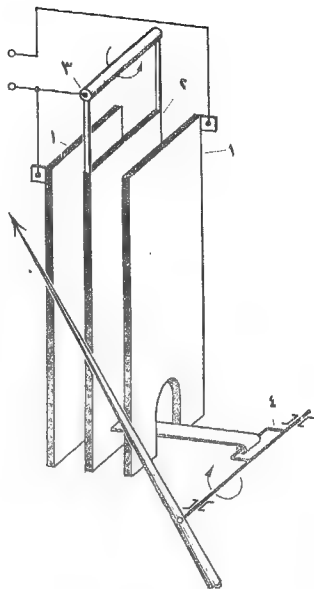
آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية من نوع اللوح :

يبين الشكل (٢٢٦) التصميم الأساسي لآلية حركة من نوع اللوح . يوضع بين لوحين معدنيين ثابتين لوح ثالث ، بحيث يكون حر الحركة ومتراكبا على سطحي اللوحين الثابتين .

تنتقل الحركة من ذراع رافعة إلى محور مرصّل بمؤشر (في غالبية التصميمات يركب على المحور قطاع مستدير من سبيكة خفيفة الوزن ويسمح له بالمرور عبر مغنطيس لأغراض المضادة) .

فإذا سلط جهد على الألواح الثابتة ينحرف اللوح المتحرك وتنتقل الحركة الناتجة عندئذ إلى المؤشر .

شكل ٢٢٦ : آلية حركة استاتيكية كهربائية
من نوع اللوح
١ - ألواح ثابتة .
٢ - لوح متحرك .
٣ - نقطة ارتكاز اللوح المتحرك .
٤ - ذراع الزافعة والمحور المؤشر .



شكل ٢٢٨ : المؤشر المضي لأجهزة القياس
١ - مصدر ضوء وعدسة .
٢ - مرآة .
٣ - تلميع .

شكل ٢٢٧ : آلية حركة استاتيكية كهربائية
اسطوانية
١ - ألواح ثابتة .
٢ - ترتيب الألواح المتحركة .
٣ - مرآة .

آلية الحركة الإستاتيكية الكهربائية الأسطوانية :

يبين الشكل ٢٢٧ التصميم الأساسي لآلية الحركة الأسطوانية . يوضع زوج من الألواح المستديرة المتحركة تبين ألواح مواسع مستدير وتوضع مرآة في مركز المجموعة المتحركة .

تستخدم هذه المرآة للبيان بواسطة الضوء . وبهذه الكيفية تكون المجموعة المتحركة ذات وزن أخف منها عندما تكون بمؤثر ميكانيكي .

وتوضح نظرية البيان بالضوء في الشكل ٢٢٨ . يسقط شعاع رفيع من الضوء من مصباح متوهج ، على المرآة عبر عدسة . وتكون الزاوية بين مصدر الضوء والمرآة والتدرج بحيث تظهر بقعة ضوئية على علامة على التدرج عند الصفر . وإذا انحرفت المرآة تتحرك بقعة الضوء على التدرج تبعاً لذلك .

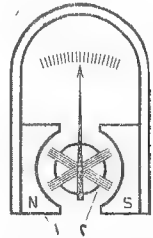
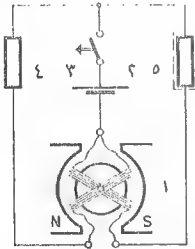
تطبيقات أجهزة القياس الإستاتيكية الكهربائية :

هذه الأجهزة مناسبة فقط ، لقياس كل الجهود المستمرة والمتردة ، وهي لا تصلح للإستخدام في قياسات الجهود المنخفضة . وتستخدم هذه الأجهزة أولاً في معامل وحجرات لإختبار الجهود العالية . وحيث أن القوة المسطرة على المجموعة المتحركة تتناسب مع مربع الجهد ، فإن التدرج يزود بأقسام لوغاريتمية .

٤/٣ - آليات الحركة لقياس المقاومة :

تشبه آلية الحركة التي تشتمل عليها أجهزة قياس المقاومات تلك التي تشتمل عليها أجهزة القياس بحديدية متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك ، مع الأخذ في الاعتبار الأسس المنطوقية الكهربائية التي تحكم حركة هذه الأجهزة .

وفيما بعد وصف لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، وكذا وصف لقطرة المقاومة .



شكل ٢٣٠ : رسم تخطيطي لدائرة جهاز قياس المقاومة بملف متقاطع

- ١ - منظر قطاع لآلية الحركة .
- ٢ - مصدر الجهد .
- ٣ - مفتاح كهربائي بزرع .
- ٤ - مقاوم مقارنة م .
- ٥ - الشيء المراد قياسه (مقاومة غير معروفة) .

شكل ٢٢٩ أساس تشغيل جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع

- ١ - مفتاح دائم بأقطاب على هيئة حلوة حصان .
- ٢ - ملف متقاطع .

(١) جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة :

بالشكل ٢٢٩ تمثيل تخطيطي لجهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، ويشبه التصميم العام له تماما ذلك الخاص بجهاز القياس بملف متحرك . وهو يختلف عن تصميم جهاز القياس بجديدة متحركة . ويتكون هذا الجهاز من لفيفتين منفصلتين ، موضوعتين بزاوية معينة بالنسبة لبعضهما البعض . وعادة تلف اللفيفتان على إطار ملف واحد مشترك . ولا يثبت في الملف المتحرك زنبرك لولبي ، لعدم ضرورة وجود قوة لإعادة الضغط . ينفذ التيار خلال موصلات على هيئة خوص لينة (وتكون عادة خوصا من الذهب) .

يبين الشكل ٢٣٠ رسما تخطيطيا لدائرة جهاز قياس المقاومة بالملفات المتقاطعة ، موضعا طريقة تشغيل هذا الجهاز . يوصل أحد طرفي كل لفيفة مع طرف الأخرى . ويؤدي هذا التوصيل إلى تلامسها مع مصدر الجهد . بينما تمر الوصلتان الأخريان خلال المقاومين (٤ ، ٥) ، والمفتاح الكهربائي بذراع ، إلى مصدر الجهد . بهذا تكون اللفيفتان موصلتين على التوازي . إلى جانب هذا فإنهما تنتجان عزوم لى متضادة في الاتجاه . وعندما يمر تيار خلال ترتيب الدائرة الكهربائية هذه (بتشغيل المفتاح الكهربائي بذراع) ، ينتج عزوم لى (يكون إتجاه أحدهما في إتجاه دوران عقارب الساعة ، ويكون إتجاه الآخر في عكس إتجاه دوران عقارب الساعة) . وإذا كانت المقاومتان متساويتين ($M = m$) ، لا ينحرف المؤشر ، حيث أن التيارين المارين عبر الملفات يكون لهما نفس الشدة ويؤديان إلى تكوين عزوم لى في إتجاه عكسي ، ولكن بنفس القوة .

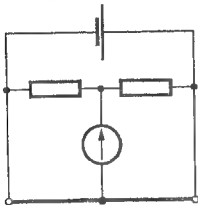
توصل آلية الحركة بحيث ينحرف المؤشر إذا كان التيار المار خلال M (المقاومة المراد قياسها) له قيمة أعلى ، وهذا يمكن من تقسيم التدرج بالأوم ، بحيث تعطى القراءة بالأوم ، وتكون القياسات بواسطة هذا الجهاز صحيحة فقط في مدى صغير للقياس .

(ب) قنطرة القياس :

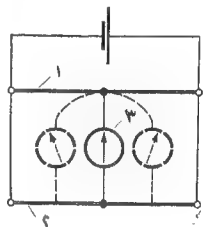
تصلح قناطر القياس التي تعرف أيضا بقناطر المقاومة للقياسات عالية الدقة ، ويستخدم فيها ملف متحرك يدور في أى اتجاه كآلية حركة . يبين الشكل ٢٣١ أساس تشغيل قنطرة القياس . ويوصل سلكان لهما نفس المقاومة على التوازي بمصدر الجهد . وإذا وصل جهاز القياس بحيث يحدث تلامسا في المركز ، بين سلكى المقاومة تماما ، فإنه لا يسرى تيار . وإذا تغيرت التوصيلات بالكيفية المبينة بالخطوط المنقطعة في الشكل ٢٣١ ، يسرى تيار في جهاز القياس . ويمكن ترتيب الدائرة الكهربية أيضا بالكيفية المبينة في الشكل ٢٣٢ .

وعلى كل حال ، فسوف لا يمر تيار خلال جهاز القياس الموصل بهذه الكيفية إذا كانت للمقاومات وأسلاك المقاومة القيم المناظرة ، ويمر تيار في جهاز القياس فقط إذا كانت

القنطرة غير متزنة . ويحدث ذلك عندما قستبدل بإحدى المقاومتين مقاومة مختلفة . وعند استخدام توصيلة واحدة لجهاز القياس كجس لاختبار سلك المقاومة على مدى طوله ، توجد نقطة على سلك المقاومة (في نطاق مدى معين من قيمة المقاومة الجديدة المستبدلة) ، حيث يقطع عندها التيار المار في السلك (الشكل ٢٣٣) .

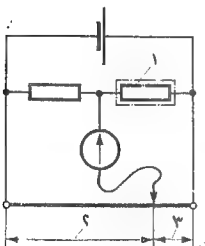


شكل ٢٣٢ : قنطرة قياس بمقاومتين جزئيتين وسلك مقاوم واحد



شكل ٢٣١ : أساس قنطرة القياس

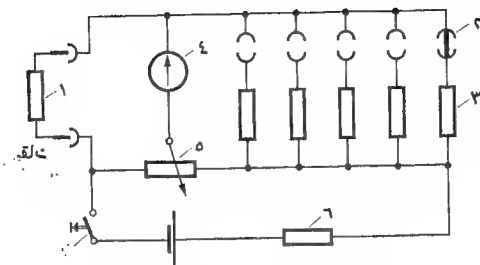
- ١ - سلك مقاوم .
- ٢ - نفس السلك المقاوم مثل ١ .
- ٣ - جهاز قياس .



شكل ٢٣٣ : قنطرة قياس بمقاومة مجهولة

- ١ - مقاومة مجهولة القيمة .
- ٢ - طول ١ من سلك المقاومة .
- ٣ - طول ٢ من سلك المقاومة .

في الدائرة المبينة في الشكل ٢٣٢ ، يوصل طرف واحد من جهاز القياس بمركز سلك المقاومة بحيث ينصفه تماما إلى طولين متساويين . في الشكل ٢٣٣ يكون طول سلك المقاومة غير متساويين ، لضبان إتران القنطرة كهربائيا ، فإذا عرفت قيمة مقاومة جزئية واحدة ، أمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة ، من نسبة الأطوال والمقاومة المعروفة .

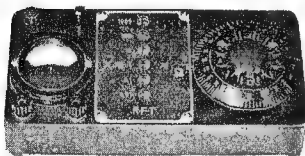


شكل ٢٣٤ : رسم تخطيطي لدائرة قنطرة القياس بأكثر من مدى للقياس

- ١ - المقاومة المطلوب قياسها .
- ٢ - ملامسات إصبع .
- ٣ - مقاومة قياس .
- ٤ - جهاز قياس .
- ٥ - مقاوم متغير .
- ٦ - مقاوم واطئ .
- ٧ - مفتاح كهربائي بذراع .

وفي قناطر القياس الصناعية ، يكون لسلك المقاومة شكل ريوستات (مقاومة متغيرة) ، يزود زر إدارته بأرقام . وعند توصيل المقاوم مع المقاومة المجهولة بالقنطرة ، يضبط الريوستات بحيث يبين جهاز القياس القراءة صفر . ويتطابق الرقم على زر الإدارة للمقاوم الدوار ، مع علامة على الصندوق الذي يحتوى عليه تبين قيمة المقاومة المراد قياسها .

وعادة تصمم قناطر القياس من هذا النوع للتشغيل على أكثر من مدى للقياس وينتخب مدى القياس بواسطة إصبع . بالشكل ٢٣٤ رسم تخطيطي ، لدائرة قنطرة قياس ، بمدى متعدد للقياس . ويبين الشكل ٢٣٥ التصميم التجاري لقنطرة قياس صغيرة تستخدم في الورش .



شكل ٢٣٥ : قنطرة قياس بمقاوم

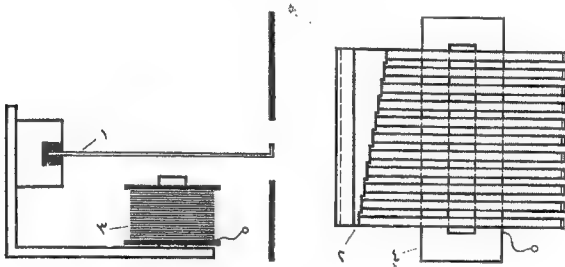
٥٣ - آليات الحركة لقياس الترددات :

تقاس الترددات ، بمساعدة أجهزة متعددة ، وعلى أساس طرق مختلفة . وفي مدى التردد المنخفض ، تستخدم أولا عدادات قياس الترددات ذات الرياش ، بينما يفضل في مدى التردد العالي استخدام قنطرة . وهذه الأخيرة لا تدخل في مجال هذا الكتاب .

وفيما يلي وصف لآلية الحركة بالإهتزاز أو بالريشة ، وهي أكثر شيوعا في الإستخدام .

(١) جهاز القياس بالريشة :

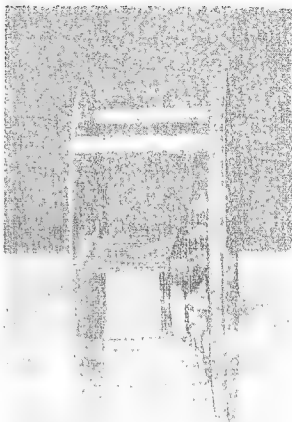
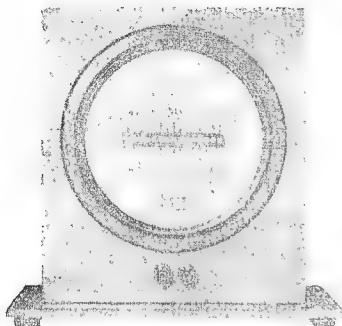
بالشكل ٢٣٦ تمثيل تخطيطي لآلية الحركة هذه . وهي مكونة من سلسلة من الريش الصلب (يكون عددها عادة ١١) ، وترتب أعلى مغنطيس كهربائي ، ويكون للريش الصلب أطوال مختلفة ، كما تكون متزنة بالنسبة لتذبذباتها الطبيعية .



شكل ٢٣٦ : رسم هيكل لجهاز قياس التردد بريشة

- ١ - ريش صلب .
- ٢ - مسقط علوي لريش الصلب .
- ٣ - مغنطيس كهربائي .
- ٤ - مسقط علوي للمغنطيس الكهربائي .

إذا ضبطت الريش الصلب على مدى قياس معين . فإن هذه الريش ، والتي يكون تذبذبها الطبيعي ضعف تذبذب التردد في المغنطيس الكهربائي ، تستجيب للتذبذبات القوية . وهذا يعني أنه إذا سلط تيار متردد بتردد ٥٠ هز على المغنطيس الكهربائي ، فإن الريشة المضبوطة على ١٠٠ تذبذب تهتز بقوة ، والريشة المواجهة تتذبذب تذبذبا ضئيلا جدا ، أو تفشل في الحركة تماما . والشكل (٢٣٧ - ١) يبين المسقط الأممي لجهاز قياس التردد بريشة . والشكل (٢٣٧ - ٢) ، يبين المسقط الجانبي له .



شكل ٢٣٧ : جهاز قياس التردد بريشة

١ - مسقط أمامي .

٢ - مسقط جانبي .

(ب) تطبيقات جهاز قياس التردد بالريشة :

يستخدم هذا الجهاز أولا للتأكد من ترددات المآخذ الرئيسية للتيار المتردد . وهذه الأجهزة أهمية خاصة بالنسبة للقياسات التي تجري على المولدات التي تعمل على التوازي .

٦/٣ - آلات الحركة لقياسات القدرة :

يمكن قياس قدرة نظام (في حالة التيار المستمر \times ت ، وفي حالة التيار المتردد \times ت \times جيب تمام Φ) ، مباشرة بواسطة آلات حركة ديناميكية كهربائية . ولهذا الغرض تكون أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية الالاحديدية وذات القلب الحديد مناسبة خصيصا لذلك . وفيما يلي وصف لآلية حركة ديناميكية كهربائية للاحديدية .

(١) آلية الحركة الديناميكية الكهربائية :

يبين الشكل (٢٣٨) تصميم آلية حركة تشبه تلك الخاصة بجهاز القياس بالملف المستدير تقريبا . يحتوى الملف المستدير على ملف متحرك ، توصل نهايته بزنبر كات لولبية مرتبة خارج الملف المستدير . وعلاوة على ذلك صممت الزنبر كات اللولبية لإحتجاز الملف المتحرك

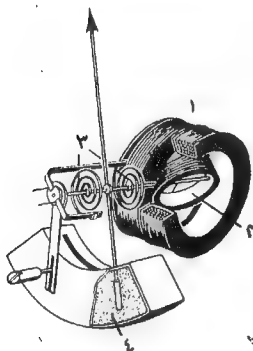
في حالة عدم وجود تيار عمودي على المحور المركزي للملف المستدير . ويركّز على محور الملف المتحرك مؤثر ، ونظام مضادة هوائي .

وإذا وصلت الملفات على التوازي ، أو على التوالي ، أو لم توصل ، فذلك ليس بلذى بال . وعلى كل ، ينتج عزم لى عندما يمر تيار يحرك الملف المتحرك . وتعيد الزنبركات اللولبية الملف المتحرك (وبالتالى المؤثر) إلى وضعه الأصلى .

(ب) تطبيق : أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية :

مع أن هذا النوع من آلية الحركة يصلح لقياس الجهد وشدة التيارات ، إلا أنه يستخدم أولا لقياسات القدرة ، حيث أن القدرة التى يتطلبها هذا الجهاز تكون عالية نسبيا . ولهذا تستخدم هذه الأجهزة غالبا في الهندسة الكهربائية .

وهي تصلح لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، حيث أن عزم الذى المنتج لا يتوقف على اتجاه التيار . ويمكن استخدام أجهزة القياس الديناميكية الكهربائية الاحديدية فقط في الأماكن التى لا تتداخل فيها المجالات المغنطيسية معها (وعلى عكس هذا ، فآليات الحركة الديناميكية الكهربائية بقلب حديد تكون أقل حساسية في هذا المجال) .



شكل ٢٣٨ : تصميم آلية حركة ديناميكية كهربائية

- ١ - ملف مستدير ثابت .
- ٢ - ملف متحرك .
- ٣ - زنبركات لولبية .
- ٤ - نظام مضادة هوائي .

٧/٣ - الترميم على أجهزة القياس (الشكل ٢٣٩) .

يمكن بسهولة تمييز أى نوع من أجهزة القياس الكهربائية بالنسبة للغرض المصمم من أجله ، وهو قياس الجهود ، أو شدة التيارات ، أو القدرات . ويمكن أيضا في أغلب الحالات تصميم الذى المسموح به لجهاز القياس الكهربائى . وبالنسبة للمكونات الداخلية لجهاز القياس ،

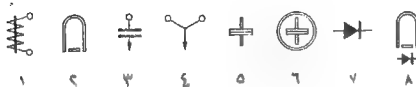
مثل نوع آلية الحركة ، ومقوم جهاز القياس المستخدم ، وطبيعة التيار فإنه لا يمكن تمييزها ببساطة بمجرد النظر . لهذا السبب ترقم أجهزة القياس الكهربائية برموز تعطى عادة على التدريج . وقد قننت أغلبية هذه الرموز دولياً .

وتبين القائمة التالية الرموز الأكثر أهمية ومدلولاتها (الشكل ٢٣٨ - أ) .

٨/٣ - إطالة مدى القياس :

تتعلق البيانات التالية بأجهزة القياس بحديدية متحركة ، وأجهزة القياس بملف متحرك . ويبين الشكل (٢٤٠) الرمز التخطيطي لآلية الحركة .

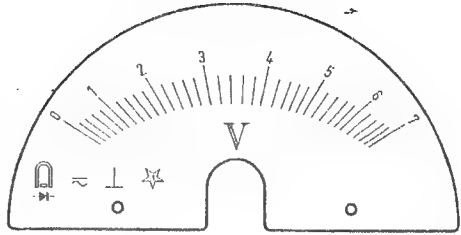
شكل ٢٣٨ أ :



الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
١	جهاز قياس بحديدية متحركة	١٠	تصحيح الصفر
٢	جهاز قياس بملف متحرك	١١	تيار مستمر
٣	جهاز قياس إستاتيكي كهربائي	١٢	تيار متردد
٤	جهاز قياس بسلك ساخن	١٣	تيارات مستمرة ومترددة
٥	جهاز قياس ديناميكي كهربائي لا حديدي	١٤	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بآلية حركة واحدة .
٦	جهاز قياس ديناميكي كهربائي بقلب حديد .	١٥	جهاز قياس ثلاثي الأطوار بثلاث آليات حركة .
٧	مقوم جاف	١٦	وضع رأسى فى الاستخدام العادى .
٨	جهاز قياس بملف متحرك بمقوم جاف .	١٧	وضع أفقى فى الاستخدام العادى .
٩	رمز جهد الاختبار (نجمة بدون رقم :	١٨	وضع مائل فى الاستخدام العادى .
	٥٠٠ فلت ، نجمة برقم ٢ : ٢٠٠٠	١٩	وضع خدمة ، زاوية منصوب عليها .
	فلط ... إلخ) .		



شكل ٢٤٠ :
رسم تقاطي لآلية



شكل ٢٣٩ : أمثلة لترقيم على أجهزة القياس : البيانات المعطاة على التدرج تبين أن هذا الجهاز مزود بملف متحرك ومقوم جاف، وأنه مناسب لكل من التيار المستمر والتيار المتردد، وأنه يجب استخدامه في وضعه الرأسي فقط ، وأن جهده الاختبار هو ١٠٠٠ فلف

(١) متطلبات القدرة وعامل الجودة لآليات الحركة :

يقال عن آلية حركة أنها أحسن من غيرها إذا كان عزم لها المرتبط بكتلة العضو المتحرك (في هذه الحالة ، يكون العضو المتحرك هو ملف متحرك ، بمحور ، وبمؤشر) ، أعلى من عزم آلية الحركة الأخرى . ونسبة عزم الى كتلة العضو المتحرك يعمل عليها بالنسبة لجودة آلية الحركة . وللوصول على نسبة مرضية ، يجب أن تكون الزنبركات اللولبية ، على سبيل المثال ، قوية بقدر كاف لاحتجاز المؤشر في الوضع الصحيح ، وبدقة ثابتة . وعلى الجانب الآخر ، فإن ذلك يعنى أن عزم الى يجب أن يكون له أيضا قيمة معينة . بهذا ترتفع القدرة التي تتطلبها آلية الحركة إلى مستوى معين ، وهذا يبين أن آلية الحركة يجب أن تتطابق مع مطلبين :

١ - يجب أن يكون لآلية الحركة عامل جودة عال .

٢ - يجب أن تتطلب آلية الحركة أصغر كمية بقدر الإمكان من القدرة اللازمة للتشغيل .

والقدرة التي تتطلبها آليات الحركة في الأميترات تكون أصغر كلما صغر حاصل ضرب المقاومة الداخلية R_i للآلية في مربع شدة التيار I ، عند الانحراف الكامل على التدرج ، وعليه تكون القدرة التي تتطلبها آلية الحركة .

$$P_d = I^2 \times R_i$$

وبالتالى ، يكون للأميتر ذى متطلب القدرة الأقل مقاومة داخلية أقل .

والقدرة التي تتطلبها آليات الحركة المستخدمة في الفلظمترات ، تكون أصغر إذا كانت المقاومة الداخلية لكل فلظ أكبر . ويعبر دائماً عن هذه التسمية $\frac{\Omega}{\text{فلظ}}$.

النسبة $\frac{\Omega}{\text{فلظ}}$	القدرة التي تتطلبها آلية الحركة ت _ا بالملي أمبير
١٠٠	١٠,٠
٥٠٠	٢,٠
١٠٠٠	١,٠
١٠٠٠٠	٠,١

(ب) إطالة مدى القياس للفلظمترات :

تعين قيمة المقاومة الداخلية م_د ، المتعلقة بمدى معين للقياس للجهد ج ، بواسطة تيار آلية حركة ت_ا :

$$م_d = \frac{ج}{ت_a}$$

وإذا أعطيت الخواص المميزة لآلية الحركة ت_ا ، م_د ، يمكن حساب المقاومة م_ج التي يجب إضافتها بالتوصيل على التوالى ، بالنسبة لمدى جهد معين ج ، وذلك من الصيغة :

$$م_j = \frac{ج}{ت_a} - م_d$$

مثال :

ما مقاومة التوالى لفلظمتر ، مدى قياسه من صفر إلى ٥٠٠ فلظ ، إذا كانت المقاومة الداخلية م_د = ١٠ ، وتيار آلية الحركة ت_ا = ٨ مل أمبير ؟

المعطيات : ج = ٥٠٠ فلظ

ت_ا = ٨ مل أمبير

م_د = ١٠ Ω

المطلوب : مقاومة التوالى مج

الحل :

$$= \frac{ج}{ت} - د$$

$$= \frac{١٠٠٠ \times ٥٠٠}{٨} - ١٠$$

$$= ٦٢٥٠٠ - ١٠$$

$$= ٦٢٤٩٠ \Omega$$

لكى يبين جهاز القياس جهد ٥٠٠ فلف عند إنحراف كامل على التدريج ، يجب توصيل مقاومة قيمتها ٦٢٤٩٠ Ω على التوالى مع آلية الحركة .

بالشكل ٢٤١ رسم تخطيطى لجهاز قياس بثلاثة مدى لقياس الجهود .

وحيث أن مج هى نفسها المقاومة مج ، بالمعادلة السابقة ، فيمكن تعيين مدى القياس

الثلاثة بالطريقة التالية :

$$(١) \text{ مج} = \frac{ج}{ت} - د$$

$$(٢) \text{ مج} = \frac{(١ج - ٢ج)}{ت}$$

$$(٣) \text{ مج} = \frac{(٢ج - ٣ج)}{ت}$$

وإذا أريد إضافة مدى للقياس أخرى ، يمكن تعيين مقاومات التوالى الإضافية اللازمة ، وذلك بنفس الطريقة .

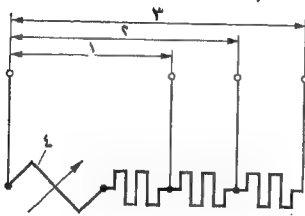
(ج) إطالة مدى القياس للأمبيرات :

إذا استخدم جهاز القياس لإجراء قياسات لصالح المستهلك ، ففى هذه الحالة يجب أن يكون لجهاز القياس مقاومة داخلية صغيرة جدا ، إذا استخدم كأميتر ، حيث أنه فى هذه الحالة يوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية . ومن قوانين الدوائر والشبكات الكهربائية ،

نعم أنه في حالة توصيل مقاومتين على التوازي ، تكون المقاومة الإجمالية أصغر من أصغر مقاومة فردية . وعلى ذلك ، يكون من البديهي توصيل مقاومة أخرى على التوازي مع آلية الحركة ، وذلك لتحسين مدى القياس المستخدم لقياس شدة تيار معينة . وحيث أنه في أغلب الأحيان تصنع لفات الملفات المتحركة من سلك من النحاس ، فإن كمية من الحرارة تتولد في الملف الحامل للتيار ، تؤثر على المقاومة م . لهذا السبب ، فعند استخدام آليات حركة كاميرات يجب توصيل مقاوم م مصنوع من مادة لا تتأثر بالحرارة (مثل المنجنين) ، لها قيمة لا تقل عن $4 \times م$ ، وذلك على التوازي مع آلية الحركة . بالشكل ٢٤٢ رسم تخطيطي لدائرة أميتر .

وإذا رمز لمدى القياس ، المرغوب فيه لأميتر ، بالرمز ت ، يمكن إيجاد مقاومة التوازي من ، وذلك بالطريقة الآتية :

$$م = \frac{(م + م) \times ت}{(ت - م)}$$



شكل ٢٤١ : فلطمتر بثلاثة مدى للقياس

- ١ - مدى القياس I مع م
- ٢ - مدى القياس II مع م
- ٣ - مدى القياس III مع م
- ٤ - آلية حركة .

مثال :

استخدمت آلية الحركة المستخدمة في المثال السابق ، كاميتر بمدى قياس من صفر إلى ٥٠ أمبير . فما قيم مقاومات التوازي ومقاومات التوازي ؟

المعطيات : ت = ٥٠ أمبير

م = ٨ مللى أمبير

م = ١٠ Ω

المطلوب : مج ، من

الحل :

$$(1) \text{ مج} = 4 \times 10^{-3} = 40 \times 10^{-6} \Omega$$

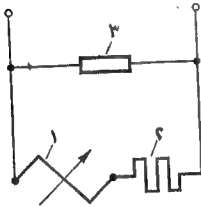
$$(2) \text{ من} = \frac{(I_{\text{مج}} + I_{\text{م}})}{I_{\text{ت}} - I_{\text{ت}}} \times 1 = \frac{40 + 10}{0,008 - 0,005} \times 0,008 = 101,7 \times 0,008$$

$$= \frac{0,008 \times 0,005}{0,008 \times 0,005} =$$

$$= 0,008 \times 101,7 =$$

$$\approx 0,814 \Omega$$

في هذه الحالة ، تكون لمقاومات التوالي مقاومة قيمتها 40Ω ، وللمقاومات التواز. مقاومة قيمتها حوالي $0,814 \Omega$ ، إذا كان على قياسي الأميتر من صفر إلى $0,008$ أمبير .



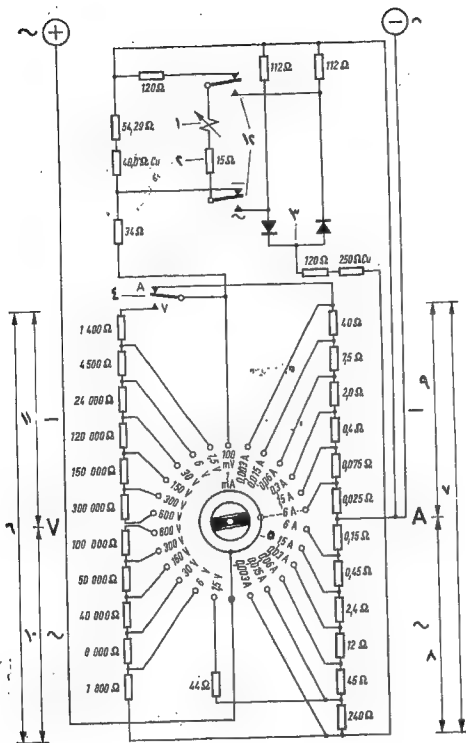
شكل ٢٤٢ : أميتر بمدى واحد للقياس
١ - آلية حركة .

٢ - مقاومة توالي مج

٣ - مقاومة توازي من

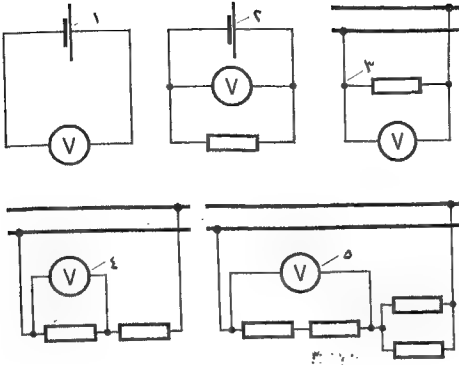
(د) جهاز القياس متعدد الأغراض لجهود وشدة التيارات :

يبين الشكل ٢١٩ جهاز قياس نقالي متعدد الأغراض ، وتوجد هذه الأجهزة بتصميمات متعددة ، ومدى للقياس مختلفة . بالشكل ٢٤٣ رسم تخطيطي لدائرة جهاز قياس متعدد الأغراض ، يستخدم لقياس الجهود وشدة التيارات ، ويستخدم هذا التصميم كثيرا في أعمال الإصلاح .



شكل ٢٤٣ :
رسم تخطيطي لدائرة
جهاز قياس متعدد
ال الأغراض يستخدم
لقياس الجهد وشدة
التيار .

- ١ - آلية حركة .
- ٢ - مقاومة توائى لآلية الحركة .
- ٣ - مقوم قياس .
- ٤ - مفتاح كهربائى متغير للجهد وشدة التيار
- ٥ - مفتاح كهربائى منتخبة المدى مضبوط للتيار المستمر بشدة لغاية ٦ أمبير .
- ٦ - مقاومات توائى لقياسات الجهد .
- ٧ - مقاومات توازى لقياسات التيار .
- ٨ - مدى التيار المتردد .
- ٩ - مدى التيار المستمر .
- ١٠ - مدى الجهد المتردد .
- ١١ - مدى الجهد المستمر .
- ١٢ - مفتاح كهربائى متغير لآلية الحركة (عند تشغيل المفتاح الكهربائى المنتخبة المدى) ،
تشغل أيضا المفاتيح الكهربائية (٤) ، (١٢) .



شكل ٢٤٤ :
رسم تخطيطي يبين
ترتيبات لقياسات
الجهد

- ١ - فلظمتر على التوازي مع مصدر الجهد .
 - ٢ - فلظمتر على التوازي مع مصدر الجهد ومقاوم .
 - ٣ - فلظمتر على التوازي مع نظام التغذية ومقاوم .
 - ٤ - فلظمتر على التوازي مع مقاوم على التوالي .
 - ٥ - فلظمتر على التوازي مع مقاومين في شبكة مختلطة في (٤) ، (٥)
- لا يقاس الجهد عبر مصدر الجهد ولكن يقاس هبوط الجهد في المقاومات .

٩/٣ - وصف لوضع دوائر قياس :

دوائر قياس الجهد :

لقياس الجهود ، يوصل الفلظمتر على التوازي مع مصدر الجهد ، واحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٤) .

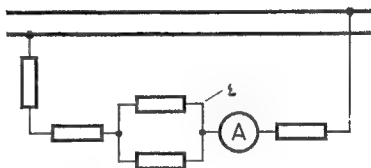
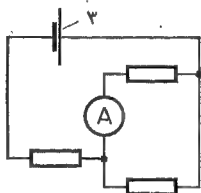
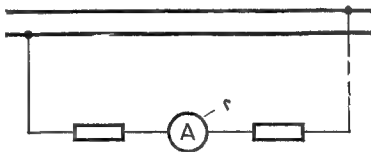
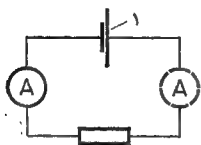
دوائر قياس التيار :

لقياس شدة التيارات ، يوصل الأميتر على التوالي مع أحد ، أو عدة أجهزة كهربائية (الشكل ٢٤٥) .

(١) دوائر قياس للتأكد من قيم المقاومات بواسطة قياسات التيار والجهد :

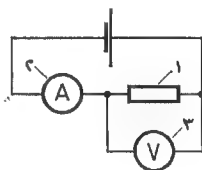
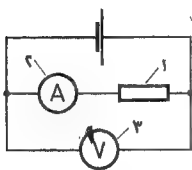
تسمى قياسات المقاومات بواسطة جهاز قياس المقاومة بالملف المتقاطع ، وبواسطة قنطرة المقاومة ، « بطرق قياس المقاومة المباشرة » . وتكون الطرق غير المباشرة ، هي الطرق التي

تحسب فيها الكمية المجهولة من كيتين مقاستين ، أو أكثر ، وكما هو معروف جيدا ، يمكن حساب المقاومة م من خارج قسمة $\frac{V}{I}$. وهذا يعنى ، أنه إذا أمكن قياس الجهد وشدة التيار ، يمكن حساب قيمة المقاومة م .



شكل ٢٤٥ : رسم تخطيطى لدائرة تبين ترتيبات لقياسات التيار

- ١ - أميتر على التوالى مع مقاوم .
- ٢ - أميتر على التوالى مع مقاومين .
- ٣ - أميتر موصل لقياس فرع من الدائرة .
- ٤ - أميتر فى شبكة مختلطة .



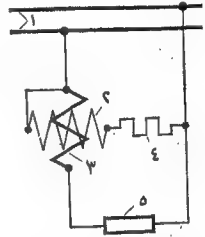
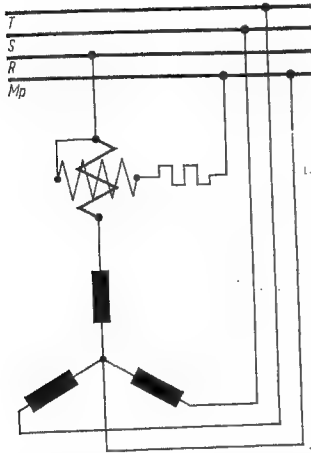
شكل ٢٤٧ : دائرة قياس مهياة لقياسات التيار

شكل ٢٤٦ : دائرة قياس مهياة لقياسات الجهد

- ١ المقاومة المراد قياسها .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - فلتومتر .

- ١ - المقاومة المراد قياسها .
- ٢ - أميتر .
- ٣ - فلتومتر .

وبين الشكلان ٢٤٦ ، ٢٤٧ تمثيلا لدائرتي قياس لتعيين المقاومة .
ومن هذه الأشكال ، يتبين أنه لا يمكن تجنب أخطاء القياس . وفي الشكل ٢٤٦ تشتمل قراءة الفلظمتر على المهبوط في الجهد ، الذي يسببه الأميتر . وفي الشكل ٢٤٧ ، تشتمل قراءة الأميتر على تيار الفرع المار في الفلظمتر . ويصبح تعيين المقاومة بطريقة غير مباشرة أقل دقة كلما كانت القدرة التي تتطلبها أجهزة القياس المستخدمة أكبر .



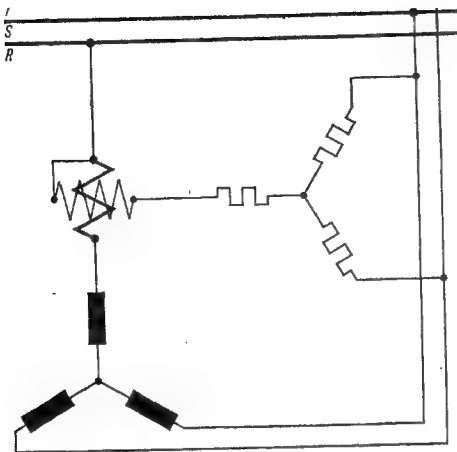
شكل ٢٤٨ : قياس القدرة في شبيكة تيار مستمر أو شبيكة تيار متردد أحادى الطور
١ - شبيكة .
٢ - ملف جهد لجهاز قياس القدرة .
٣ - ملف تيار لجهاز قياس القدرة .
٤ - مقاوم توالي .
٥ - جهاز كهربائي .

شكل ٢٤٩ : قياس القدرة بواسطة فلظمتر في نظام بأربعة أسلاك . في هذه الحالة تكون النتيجة دقيقة إذا كان المحول متماثلاً .

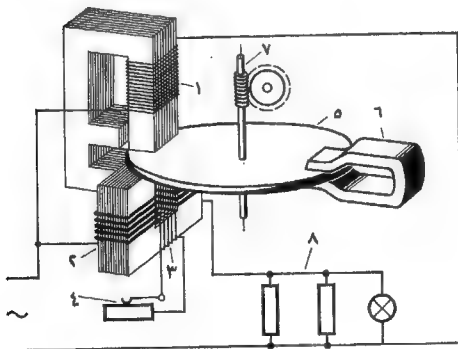
وعلى أساس هذه الطريقة يمكن تعيين المقاومات الأومية ، وبدرجة مرضية من الدقة ، إذا أعدت الدائرة لقياسات التيار ، وكانت المقاومة الداخلية للأميتر أكبر ١٠٠ مرة من أصغر قيمة من المقاومة المراد إيجادها . وفي حالة ترتيبية دائرة لقياسات الجهد ، تكون المقاومة الداخلية للفلظمتر أكبر ١٠٠ مرة من قيمة المقاومة المراد قياسها .

(ب) دائرة قياس لقياسات القدرة : (الشكل ٢٤٨)

وهي أجهزة قياس القدرة ، والتي تعرف أيضا بالواطترات (الشكل ٢٤٩ والشكل ١٢٥) ، وهي تشتمل على آليات حركة ديناميكية كهربائية ، ومقاوم توالي ملف الجهد .



شكل ٢٥٠ : قياس
القدرة بواسطة فلطمتر
في نظام ثلاثة أسلاك
ونقطة تعادل صناعية
وفي هذه الحالة، تكون
القيمة المقاسة دقيقة
فقط إذا كان الحمل
متأثلاً .



شكل ٢٥١ : قياس
الشغل الذي يبذله تيار
بواسطة جهاز قياس
شغل .

- | | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| ١ - ملف الجهد . | ٢ - لفيفات مساعدة . | ٣ - ملف تيار . |
| ٤ - مقاوم متغير . | ٥ - قرص ألومنيوم . | ٦ - مغنطيس مضادة . |
| ٧ - حلزون نقل للعداد . | | ٨ - أجهزة كهربائية . |

. (ج) دائرة قياس لقياس الشغل الذى يبذله التيار :

يحصل على الشغل الذى يبذله التيار من $\int z \times t \times j$ ، ومن $\int z \times t \times j$ جتا Φ للتيار المتردد . ويقاس الشغل الذى يبذله التيار المستمر بواسطة جهاز قياس الساعة بتحريك تيار مستمر ، أو بواسطة أجهزة قياس كيميائية كهربائية .

ويبين الشكل (٢٥١) تصميم ورسم تخطيطى لدائرة جهاز قياس الساعة من النوع الحثى ،
والذى يعتبر جهازا نوعيا لقياس الشغل الذى يبذله التيار المتردد .

وفى هذا الجهاز ينتج عزم لى فى قرص من الألومنيوم دوار ، وذلك بواسطة مغنطيسين
كهربائيين ، يكونان مع بعض زاوية قائمة ، يحمل أحدهما التيار ، ويوصل الجهد عبر الثانى ،
ويوجد ملف مساعد ، موصل بمقاومة متغيرة ، وذلك لإنتاج إزاحة طور . يضبط عزم اللى ،
ومضادة التيار الدوامى التى يسببها المغنطيس ، بحيث تدور القرص متناسبا مع $\int z \times t \times j$ جتا Φ .
تنقل حركة الدوران إلى عداد ميكانيكى ، ويبين الشغل الذى يبذله التيار معبرا عنه بالكيلو واط
ساعة (ك . و . س .) .

via	عن طريق	weston normal cell	خلية ويستون الإمامية
visible signal	إشارة مرئية	windings	لفيفات
voltage drop	هبوط الفلطية	wireless	لاسلكى
voltage source	مصدر الجهد	wire wound resistor	مقاوم من السلك الملفوف
wave	موجة	work	شغل
wave filter	مرشح موجة	zero position	وضع الصفر
wave guide	دليل الموجة		
wave length	طول الموجة		

size	مقاس - طراز	three - phase	ثلاثي الطور
slot	شق	thermal	حراري
smelting furnace	فرن صهر	thermistor	ترمستور
socket outlet	مخرج مقبس	thermoplastics	لدائن حرارية
soft iron	حديد رخو (مطاوع)	thermosetting plastics	لدائن مصلدة حراريا
specimen	عينة	time constant	ثابت زمن
speed of rotation	سرعة الدوران	torque	عزم لي
spherical	كروي	torsion balance	ميزان التواء
spot	بقعة	toy motor	محرك كهربائي دمية
stability	اتزان - استقرار	transducer	محول طاقة
star connection (star junction)	توصيلة نجمة	transferring	نقل
startability	المقدرة على بدء الحركة	transformer	محول
stationary	ثابت	transformation	تحويل
stator	عضو ساكن	transient deflection	إنحراف عابر
steatite	إستيتيت (حجر صابون)	transmissibility	منقولية (قابلية للنقل)
strip	خوصة	transmission	نقل
structure	تركيب	transmitter	مرسل
switch gear	مجموعة مفاتيح التشغيل	trigonometric	مثلثية
switching devices	نقاط تشغيل المفاتيح	trimming	تشذيب المصبوبات
synchronization	تزامن	tubular	أنبوبي
synchronously	بتزامن	tuning oscillation	دائرة موافقة التذبذبات
system	نظام	turns	لفات
temporal	مؤقت	two - phase	ثنائي الطور
tensile force	قوة شد	type	طراز
rension	توتر	vacuum	فراغ
terminal	طرف توصيل	variable	متغير
testing	إختبار	vector	متجه
therapy	علم العلاج الطبي	velocity	سرعة

precision	دقة	repulsion	تنافر
press board	ورق مضغوط	residual magnetism	مغناطيسية متبقية
primary circuit	دائرة ابتدائية	resistance	مقاومة
primary magnetomotive force	قوة دافعة مغناطيسية ابتدائية	resistance bridge	قنطرة قياس المقاومة
propagation	إمتداد - انتشار - انتقال	resistivity	مقاومية
property	خاصية	resistor	مقاوم
prototype meter	متر إمامى	saturation	تشبع
quotient	خارج قسمة	saturation limit	حد التشبع
radial	فى اتجاه نصف القطر	scale	تدرج
range	مدى	scanning	مسح
rate	معدل	schematic representation	تمثيل تخطيطى
rated voltage	جهد مقنن	screening	حجب
reactance	مفاعلة	screwdriver	مفك
rseactive	غير فعال	secondary current	تيار ثانوى (تيار الملف الثانوى)
reading	قراءة	sector	قطاع
recording	مسجل	selection	إختيار
reciprocal	مقلوب	selector switch	مفتاح إنتقاء كهربائى
rectangle	مستطيل	self - induction	حث ذاتى
rectifier	مقوم	semi - conductor	شبه موصل
reed	ريشة	semolina	صميدة
regulating switch	مفتاح منظم كهربائى	sensitive	حساس
relative permeability	نفاذية نسبية	shaft	عمود إدارة
relay	متابع - مرحل	short circuit	دائرة قصر
remanence	إستبقائية	short wave	موجة قصيرة
rheostat	ريوستات (مقاومة صغيرة)	sine	جيب الزاوية
rotating machine	مكنة دوارة	single phase	أحادى الطور
rotor	عضو دوار	sinusoidal	جيبى

magnetic	مغناطيسى	palm	راحة اليد
magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسى	paper lining	بطانة من الورق
magnetism	مغناطيسية	parabolic heater	مسخن بشكل قطع مكافئ*
magnetite	مغناطيت (حجر المغناطيس)	paramagnetic	بارا مغناطيسى
magnetization	مغنطة - تمغنط	peak value	قيمة الذروة
magnetized	تمغنط	peculiarities	خصوصيات
magnetometer	مغناطومتر (جهاز قياس شدة المجالات اللاكهربائية)	pendulum	بندول
magnitude	مقدار	period	دورة
measuring bridge	قنطرة قياس	periodicity	دورية
mechanical	ميكانيكى	periodic time	دورة (زمن دورى)
media	أوساط	permanent	دائم
medium	وسط	permeability	نفاذية
mesh circuit	دائرة مقفلة	permissible	مسموح به
molecule	جزئ	phenomena	ظاهرة
moving coil	جهاز قياس بملف متحرك	physician	فيزيقي
moving iron instrument	جهاز قياس بحديد متحركة	physiological	فسيولوجى
mutual	متبادل	pivot	محور ارتكاز
necked - down	مخصر	plastics	لدائن
negative charge	شحنة سالبة	polarity	قطبية
network	شبكة	polarization	إستقطاب
neutral point	نقطة تعادل	pole	قطب
non-conductor	غير موصل	pole changer	مغير القطب
non-hardened	غير صلد	portable	نقالى
ohmic resistance	مقاومة أومية	potentral difference	فرق الجهد
oscillations	تذبذبات	potentiometer	بوتنشومتر (مقاومة قياس فرق الجهد)
over lapping	متراكب	power factor	عامل القدرة
		power meter	عداد القدرة
		power station	محطة القوى

helical spring	زنبرك لولبي	insulation loss	فقد العزل
hertz	هيرتز (هز)	insulating material	مادة عازلة
h.f. reciever	مستقبل تردد عالي	interdependance (تبادلى)	اعتماد متبادل
h.f. transmitter	مرسل تردد عالي	interference	تداخل
high frequency	تردد عالي	interlinking	توصيل متبادل
homogeneous	متجانس	interrelation	علاقة متبادلة
hourse shoe magnet	مغناطيس على شكل حدوة حصان	intensity	شدة
hypotenuse	وتر	ironless	لا حديدي
hysteresis loop	منحنى انشوطي للمغناطيسية المتبقية	key switch	مفتاح كهربائي بذراع
		knob	زر
immersion heater	مسخن غاطس	lag	تخلف
impregnated	مشرب بالزيت	laminated fabrics	رقائق قاش
incandescent	مصباح متوهج	laminated papers	رقائق ورق
inconformity	مطابق	lamp holder	دواة مصباح
indicating instrument	جهاز مبين	leakage current	تيار تسرب
indicator	مبين	lever arm	ذراع الرافعة
indivisible	غير قابل للانقسام	limits of error	حدود الخطأ
induced current	تيار منتج بالحث	lightening arrester	مانعة صواعق
inductance	محاثة	linear	خطي
inductive	حثي	lines of flux	خطوط الفيض
inductor	محث	live part	جزء مكهرب
influence	تأثير	load	حمل
inhomogeneous	غير متجانس	longitudinal section	قطاع طولى
in parallel	على التوازي	loop	حلقة
input	دخل	low voltage	جهد منخفض
in series	على التوالي	mains	مأخذ رئيسي
installations	تركيبات	magnet	مغناطيسي
instantaneous	لحظي		

electric charges	شحنات كهربائية	equipments	معدات
electric field	مجال كهربائي	equivalent	مكافئ
electricity	كهرباء	expansion	تمدد
electricity engineering	هندسة كهربائية	factor	عامل
electric meter	عداد كهربائي	faulty connection	توصيلة خاطئة (بها عطل)
electric power	قدرة كهربائية	feed back	تغذية مرتجعة
electrifiable	قابل للتكهرب	ferromagnetic substance	عنصر عالي الإنفاذية المغناطيسية
electrification	كهربة	field	مجال
electro - chemical process	عمليات كيميائية كهربائية	filament resistor	مقاوم خيطة التسخين
electrode	إلكترود	finger contact	ملامس الإصبع
electrodynamic	ديناميكي كهربائي	flasher	وحدة ومضة
electrolytic	إليكتروليتي	flux	فيض
electromagnet	مغناطيس كهربائي	foils	رقائق
electromagnetic	مغناطيس كهربائي	frequency	تردد
electrometer	جهاز قياس فرق الجهد الكهربائي	function	دالة
electromotive force	قوة دافعة كهربائية	fundamentals	أساسيات
electron dificiency	قصور الإلكترون	galvanic cell	عمود جلفاني (خلية جلفانية)
electron excess	إلكترون زائد	gap	ثغرة
electroscope	مكشاف كهربائي (إلكتروسكوب)	generation	توليد
electrostatic	إستاتيكي كهربائي	generator	مولد
electrothermal switch	مفتاح حراري كهربائي	geometric	هندسي
element	عنصر	glow lamp	مصباح متوهج
elongation	إستطالة	graduation	تدريج
energy	طاقة	harmonic oscillations	تذبذبات توافقية
equation	معادلة - صيغة		
equilibrium	إتزان		

commutator	عضو تبديل	deviation	انحراف
compact	متضام	device	تبيطة
conducting plate	لوح موصل	diagramatic	تخطيطي
conductivity	موصلية	diamagnetic	دايا مغنطيسي
conductor	موصل	dielectric	وسط عازل
configuration	تشكيل	dielectric strength	متانة العزل
constant	ثابت	dim light	ضوء خافت
contactor	ملاص - زر تلامس	direct current	تيار مستمر
continuity	استمرارية	disc	قرص
controlling	تحكم	discharge lamp	مصباح تفريغ
converter	محول طاقة	displacement	إزاحة
coresheet	رقائق الصلب	divisibility	قابلية للتجزئة
cosine	جيب تمام	division	قسم
coulomb's law	قانون كولوم	drift velocity	سرعة الانسياب
counter	عداد	driving energy	طاقة دافعة
cross - coil ohmmeter	جهاز قياس بالملفات المتقاطعة	duration	دوام
crystalline	بلوري	dynamic effect	تأثير ديناميكي
crystal structure	تركيب بلوري	dynamo	دينامو
current intensity	شدة التيار	earthing	تأريض
cycle	دورة	earth leakage	تسرب للأرض
cylindrical	اسطواني	eddy currents	تيارات دوامية
damping	مضادة	effective length	طول فعال
decay	اضمحلال	efficiency	كفاءة - كفاية
decisive factor	عامل حاسم	elder pith electroscope	مكشف كهربائي بكرة من نخاع البلسان
deflection	انحراف	electrical circuit	دائرة كهربائية
delta connection	توصيلة دلتا	electrical potential	جهد كهربائي
density	كثافة	electrical tension	جهد كهربائي
deposited	مرسب	electric appliances	مستخدمات كهربائية (أجهزة تعمل بالكهرباء)

المصطلحات الفنية

absolute	مطلق	capacitance	مواصلة
accumulators	مراكم	capacitive reactance	مفاعلة سعوية
air gap	ثغرة هوائية	capacitive resistance	مقاومة سعوية
alloy	سبيكة	capacitor	مواسع (مكثف كهربائي)
alternating	متعدد	casing	غلاف
amber	كهرمان	cell switch	مفتاح خلايا كهربائي
ammeter	أميتر (جهاز قياس شدة التيار)	ceramic	خزفي
ampere balance	ميزان الأمبير	charges	شحنات
amplifier	مكبر	charging by influence	شحن بالتأثير
angular	زاوي	choke coil	ملف كايح للتيار
annealing furnace	فرن تلدين (تخمير)	characteristics	خصائص مميزة
antenna	هوائي	circular path	مر دائري
anticlockwise direction	اتجاه عكس عقارب الساعة	circular section	مقطع دائري
armature	عضو إلتاح	circuit arrangement	ترتيبة دائرة
arrangements	ترتيبات	circuit breaker	قاطع دائرة
atom	ذرة	circuit diagram	رسم دائرة
atomic theory	النظرية الذرية	circuit elements	عناصر الدائرة
attraction	تجاذب	classifications	تصنيف
asynchronous	لامترامن	clockwise direction	اتجاه عقارب الساعة
axle	محور	clutches	قابض
bar magnet	قضيب مغناطيسي	coefficient	معامل
bushing insulator	عازل نفاذي	coercive	قوة قهرية
buzzer	زنان	coercivity	قهرية
calibration	معايره	coil	ملف
		coil frame	إطار الملف
		communications	اتصالات

سلسلة الأسس التكنولوجية

- ١ - الجداول الفنية (-)
- ٢ - الكيمياء الصناعية
- ٣ - الرسم الفني (-)
- ٤ - أشغال الخشب (التجارة)
- ٥ - التركيبات الكهربائية (+ ×)
- ٦ - هندسة السيارات (+ ×)
- ٧ - أشغال قطع المعادن (+ ×)
- ٨ - المعام بالغاز ١ - (-)
- ٩ - المعام بالغاز ٢ - (-)
- ١٠ - الالكترونيات
- ١١ - المخرطة
- ١٢ - الأمان الصناعي
- ١٣ - براءات التجميع
- ١٤ - هندسة الموثوميكلات
- ١٥ - النظائر في البحث والصناعة
- ١٦ - الأساسيات الكهربائية ج ١ -
- ١٧ - الأساسيات الكهربائية ج ٢ (×)
- ١٨ - هندسة الجرافات (×)
- ١٩ - أشغال المعادن (×)
- ٢٠ - المعام بالغاز ٣ - (×)
- ٢١ - صناعة النسيج (×)

(-) نفذ وميعاد طبعه

(+) طبعة ثانية

(×) تمت الطبع ويصدر تباعاً